



Рисунок 2 – переходная характеристика системы с рассчитанным регулятором и обученным достаточно длительным промежуток времени нейронным регулятором

Подытожив: Можно увидеть, насколько важен период обучения для регуляторов на основе нейронных сетей, и увидеть, что длительный период обучения значительно улучшает качество регулятора, в то время как в начале обучения регулятор не способен к работе в требуемой роли, исходя из чего можно увидеть целесообразность метода, применённого в нефтяной промышленности.

УДК 629.7.01

**Олиферович Н.М., Гринюк Д.А.,
Сухорукова И.Г., Ивашко Е.В. Старовойтов М.С.**
(Белорусский государственный технологический университет)

ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ

Идентификация процесса, или системная идентификация, является очень активной областью исследований с широкими вариантами для построения алгоритмов. Идентификация процесса — это методология и приемы выбора исходя из входных и выходных данных процесса

и с учетом определенного критерия, математической модели заданного типа, которая может наилучшим образом представить реальный процесс (точнее данные процесса). Таким образом, для идентификации процесса используются следующие три компонента.

1. Данные процесса. Поскольку идентификация процесса является методом анализа данных, их качество определяет качество окончательной модели. Целью идентификации процесса (черного ящика) является «ввод данных, вывод модели».

2. Модель процесса. Процесс может быть представлен различными моделями, такими как линейная или нелинейная, переменная во времени или неизменная во времени, детерминированная или стохастическая, дискретная или непрерывная, временная или частотная, с сосредоточенными или с распределенными параметрами, описываемыми разностным уравнением или дифференциальным уравнением, вводом-выводом или с пространством состояний [1].

3. Критерии. Идентификация процесса направлена на поиск математической модели, которая «наиболее точно» аппроксимирует взаимосвязь между входными и выходными данными процесса. Критерий определяет, в каком смысле модель является «лучшей». После чего динамическое причинно-следственное поведение абстрагируется в математическую модель, основанную на входных/выходных ответных данных при допущении конкретной структуры модели и определенных критериев согласия [2].

Методы идентификации можно классифицировать по разным критериям:

- структурная и параметрическая;
- получение параметров моделей после проведения эксперимента или непрерывный анализ;
- идентификация параметров линейной модели или нелинейной;
- пассивное наблюдение за объектом или активное воздействие по управляющим каналам на объект.

Активная идентификация может проводиться с помощью ступенчатых (детерминированных), частотных или случайных воздействий. Иногда форму детерминированных воздействий могут варьировать в зависимости от свойств объекта и особенностей эксплуатации объекта.

В последнее время начала активно развиваться идентификация нелинейных свойств объектов управления для обеспечения качественного управления.

Исторически системная идентификация для нелинейных систем [1, 2] развивалась путем сосредоточения внимания на определенных классах систем. В целом можно выделить пять основных подходов, каждый из

которых определяется классом модели: модели серии Вольтерра, блочные модели, нейросетевые модели, модели NARMAX и модели в пространстве состояний. Классификация методов идентификации нелинейных моделей не является устоявшейся. В литературе можно встретить и другие подходы. Так, результатом параметрической идентификации нелинейных моделей могут быть: дифференциальные уравнения, NARMAX-модели, вейвлет-модели, ANN-модели. При непараметрической идентификации: модели на основе рядов Вальтера, модели в виде фазовых портретов, частотные характеристики, разгонные характеристики. К полупараметрическим моделям относят модели на нечеткой логике и нейро-нечеткие модели. В блок-ориентированных подходах выделяют: модели Гаммерштейна (Хаммерстайна, Hammerstein); Винера и Хаммерстайна-Винера.

Идентификация на практическом уровне требует от пользователя осуществить рациональный выбор типа модели, способа определения ее параметров, критерия оценки адекватности модели исходя из места ее приложения. Наиболее часто проблема идентификации стоит перед разработчиками систем управления, поэтому большинство книг управления содержат разделы по идентификации объектов управления [2]. А в связи развитием возможностей вычислительной техники большинство современных средств регулирования содержат в том или ином виде встроенные механизмы идентификации каналов управления с автоподстройкой настроек регуляторов.

В [3] был предложен способ идентификации в реальном времени на основании формирования смеси гармонических сигналов с целью определения динамических характеристик каналов управления, а также проведены испытания данного подхода на тепловом объекте [4]. Идентификация с помощью гармонических сигналов также представлена в других вариантах [5]. Несмотря на положительный результат, использование гармонических сигналов не позволяет получить оценку нелинейных параметров объекта.

Объектом параметрической идентификации, как и прошлых экспериментов, был тот же воздушный теплообменник, значение температуры которого на выходе можно контролировать с помощью двух датчиков температуры с металлической штангой $\square 1$ и на объекте. Сигналы этих датчиков обрабатываются разными аналогово-цифровыми преобразователями. Активное воздействие на температуру производилось путем управления частотой вентилятора.

Объект характеризуется определенной стохастичностью динамики, так как, несмотря на то, что воздушный теплообменник находится в помещении, но в течение даже нескольких часов нельзя

обеспечить постоянство процессов теплообмена. Перед началом эксперимента объект прогревался в течение времени, превышающего время разгона. Оценка динамики производилась во всех экспериментах путем смещения от одного и того же значения частоты питающего напряжения двигателя вентилятора ($f = 16,28$ Гц). Для идентификации были использованы три варианта:

- классический одиночный меандровый сигнал со смещением в ту и другую стороны от стационарного значения с поддержание отклонения до окончания переходного процесса;

- смесь четырех меандровых сигналов с коэффициентом скважности 0,5. Амплитуда первого сигнала $\square 0,226$ Гц питающего напряжения, частота и амплитуда второго сигнала в 2 и 1,5 больше соответственно. Третий имеет амплитуду в 4 раза больше, чем первый, а частоту в 6 больше первого. А последнего, четвертого, частота выше в 30;

- смесь четырех гармонических сигналов со значениями частот и соотношением амплитуд, как у предыдущего варианта. Амплитудное значение гармонических сигналов 2 больше у меандровых для сохранения одинакового энергетического воздействия на объект исследования.

Использование для идентификации смеси меандровых сигналов призвано повысить робастность идентификации данного подхода. Как было показано в [4], для успешной идентификации требуется актуальная информация по всему спектру частотной характеристики объекта наблюдения. Чем больше точек на АЧХ, тем адекватнее может производиться оценка динамики в реальном времени.

Как и в предыдущих вариантах, при обработке производилась компенсация долгосрочного тренда с помощью метода наименьших участков, получения квадратичной зависимости на участке компенсации. Робастность идентификации повышалась, как и ранее, существенно снижая сбойные случаи.

Для устойчивой идентификации динамики при ММИ было достаточно 1–2 периодов исходных данных. Коэффициент усиления определялся близко к первому методу. Вопросом было определение оптимального значения количества гармоник.

Следует понимать, что в численной оценке параметров динамики предложенными методами существует проблема оценки ошибки идентификации, поскольку ни один из методов не является точным. Динамические параметры данного объекта подвержены вариации.

В целом следует при формировании тестового набора гармоник использовать большее значение шага между частотами для повышения устойчивости идентификации. При необходимости определения степени нелинейности динамических характеристик метод ММИ имеет

больше перспектив, так как путем анализа мощности вторичных гармоник или амплитуды четных гармоник можно подбирать скважность меандров для из минимизации, что может служить параметром оценки степени нелинейности динамики.

Проведенные исследования показали, что использование предварительной обработки измерительных данных с объекта идентификации с целью исключения долговременных трендов позволяет повысить робастность и адекватность получаемых коэффициентов. Метод ММИ более устойчив к адекватности оценки характеристик по сравнению с ГИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Corriou JP. Process control – theory and applications. 2nd ed. — Springer, 2017. 866 p.

2. Nelles O. Nonlinear system identification: from classical approaches to neural networks. Springer Verlag Publ., 2001. 785 p.

3. Олифиревич Н. М., Гринюк Д. А., Оробей И. О. Гармоническая идентификация технологических объектов в реальном времени // Труды БГТУ. 2016. Сер. 3, Физ.-мат. науки и инфор. № 6, С. 117–121.

4. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. Harmonic identification of technological objects in real time // Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream). Vilnius, , 2016. P. 1–4.

5. Гринюк Д. А., Олифиревич Н. М, Сухорукова И. Г., Оробей И. О. Идентификация параметров динамических каналов воздушного теплообменника // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и инфор. 2022. № 2 (260). С. 70–79.

УДК 004.431.2

**Дубиковская Е.В., Гринюк Д.А.,
Чепурко М.В., Арпентий Д.О.**

(Белорусский государственный технологический университет)

ИНСТРУМЕНТЫ РАСШИРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Python – мощный язык программирования общего назначения, который широко используется в интернет-приложениях, разработке программного обеспечения, науке о данных, машинном обучении и естественных науках. Он был реализован Гвидо ван Россумом в 1989 году. Python классифицируется как интерпретируемый язык программирования, автоматизирующий большинство фундаментальных операций (таких как управление памятью),