

**СОЗДАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ
СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЁМ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ
ИДЕНТИФИКАЦИИ****Г.М. Антонова, В.В. Макаров (Москва)****Введение**

Для динамических стохастических систем создание имитационной модели включает ряд этапов, содержащих как аналитические описания функционирования составных частей системы, так и построение имитационных моделей на основе известных алгоритмов её функционирования с использованием различных языков программирования. Итоговая модель реализуется в виде программного комплекса, который после проверки адекватности может быть использован для решения задач оценки характеристик моделируемой системы, прогнозирования значений показателей качества системы при различных значениях внешних и внутренних параметров, оптимизации показателей качества по различным критериям и т.п. Поиск решения для таких плохо формализованных задач требует значительных усилий в организации имитационных экспериментов вследствие стохастической природы объекта. Известны работы, в которых имитационные эксперименты подвергаются статистической обработке аналогично обработке результатов экспериментов с реальными динамическими стохастическими системами. По результатам имитационных экспериментов строятся регрессионные модели, однако, не следует забывать, что корреляционный и регрессионный анализ предполагают, что входные и выходные переменные имеют нормальный или близкий к нормальному закон распределения, что не всегда справедливо для реальных систем. В ряде случаев современные методы и алгоритмы, разработанные для решения проблем идентификации, позволяют построить обобщенную модель исследуемой системы, пригодную для решения поставленных задач её исследования ускоренными темпами без потери качества получаемого решения.

Построение обобщённой модели динамической стохастической системы

Результаты имитационных экспериментов рассматриваются как выходные переменные некоторой гипотетической системы управления, для которой с помощью непараметрической идентификации предлагается некоторая гипотетическая «обобщённая» модель. Для выбранной модели путём параметрической идентификации оцениваются коэффициенты уравнения, и уточняется алгоритм идентификации объекта [1-3]. В качестве аппроксимирующей гипотетической «обобщённой» модели в разработанном пакете прикладных программ [4] выбрана обобщенная авторегрессия скользящее среднее с изменяющимися во времени параметрами. Для параметрической идентификации такая задача имеет высокий уровень сложности. Не существует наилучшего алгоритма для оценивания коэффициентов уравнения в данных условиях. Поэтому требуется подобрать такой алгоритм, который дает наименьшую погрешность оценивания выходных переменных, рассчитанных по результатам имитационного моделирования, и позволяет определить ряд значений коэффициентов модели в условиях изменяющихся входных параметров. Это позволит построить серию динамических «снимков», фиксирующих вид модели в выбранные моменты времени и формирующих обобщённую динамическую модель исследуемой системы.

В общем случае динамическая стохастическая система для проверки алгоритмов идентификации, описывается как многомерный односвязный объект (MISO - multiple input single output), получаемый декомпозицией из многомерного многосвязного объекта (MIMO - multiple input multiple output) с наблюдаемыми входами $x_r(n)$ и выходом $y(n)$

$$y(n) = \sum_r \sum_i c_{ri}(n) x_r(n-i) + \sum_j A_j(n) y(n-j) + v(n) \quad (1)$$

где $c_{ri}(n)$, $A_j(n)$ неизвестные параметры, $v(n)$ приведенный шум (стохастическое возмущение) в виде дискретного по времени стационарного случайного сигнала с математическим ожиданием $E\{v(n)\} = 0$.

Схема управления объектом, содержащая Идентификатор в цепи обратной связи, показана на Рис. 1. Согласно этой схеме, Идентификатор, стоящий в цепи обратной связи, в процессе работы объекта по входным сигналам, поступающим в объект, по управлению и выходу объекта непрерывно уточняет параметры объекта. Используя эти оценки, Блок управления формирует управляющие воздействия. На схеме $X(n)$ – входной сигнал, $Y_o(n)$ – выходной сигнал, Y_x – желаемый выходной сигнал, который подаётся на вход Блока управления, $U(n)$ – выходной сигнал Блока управления, $Y_M(n)$ – выходной сигнал имитационной модели объекта.

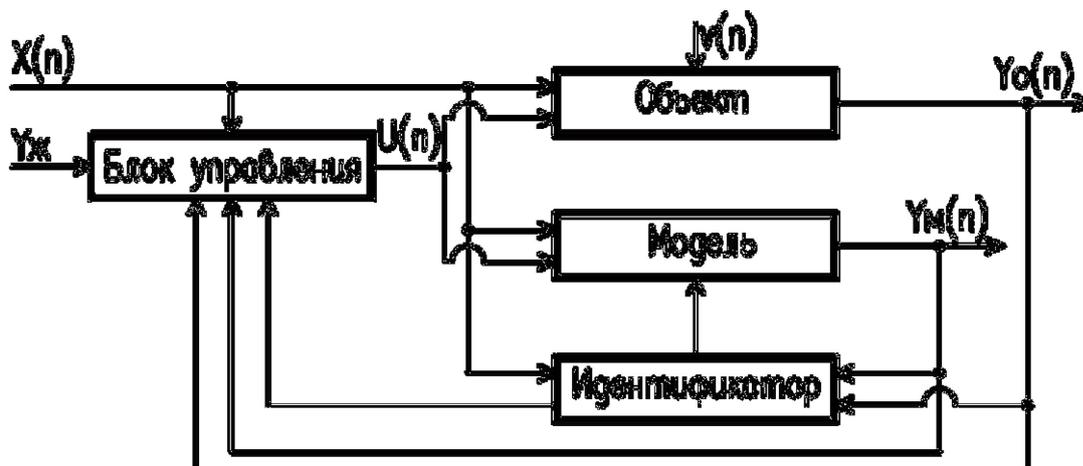


Рис. 1. Схема адаптивного управления объектом с идентификатором.

Решение задачи идентификации предполагает выбор критерия качества адаптации, который оценивает в каждый момент времени неточность представления объекта с помощью выбранной модели и имеет вид функции потерь. Критерий качества адаптации в общем виде можно записать:

$$J(K) = M\{F[\varepsilon(y, \varphi, \theta, n)]\}, \quad (2)$$

где F – функция, характеризующая меру близости (отклонения) между моделью и объектом, ε – ошибка между фактическим и желаемым значением целевого показателя идентификации, M – знак математического ожидания.

Вид функции потерь F , которая называется критерием идентификации, можно в общем случае выбирать достаточно произвольно. Вид критерия качества процесса

адаптации для реальной производственной системы определяется многими факторами, среди которых основными являются статистические характеристики помех, требования к быстродействию и сходимости алгоритма адаптации для обеспечения заданного качества управления. В задачах идентификации могут применяться и комбинированные критерии.

На Рис.2 показана схема применения идентификационных алгоритмов, которая реализуется при замене объекта имитационной моделью. На схеме $X(n)$ – входной сигнал, $Y_{ob}(n)$ – промоделированный выходной сигнал объекта, $Y_{mod}(n)$ – выходной сигнал модели, выбранной для идентификации объекта по результатам имитационных экспериментов.

Естественно, последовательные значения входного и выходного сигналов записываются в файлы, и специальные программные модули накапливают и проверяют результаты идентификации.

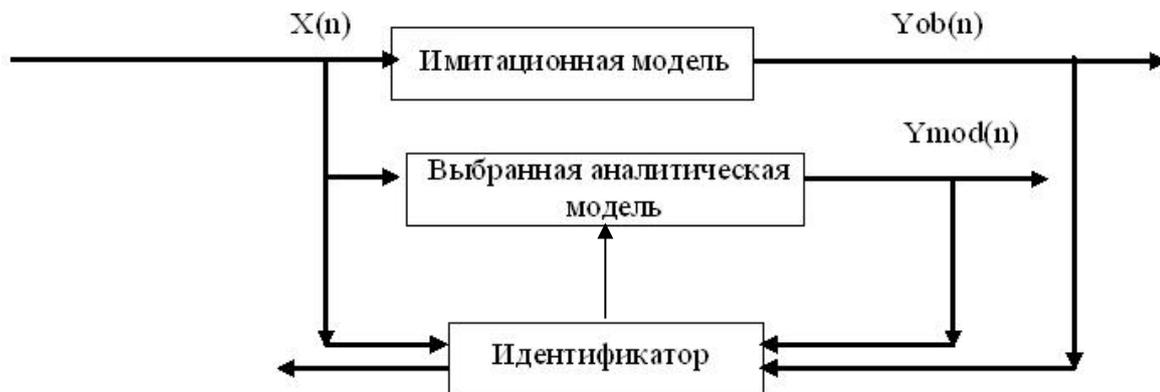


Рис. 2. Схема применения идентификационных алгоритмов для описания объекта, представленного имитационной моделью.

В [1-3] обсуждаются результаты выбора алгоритма идентификации для решения задачи описания области эффективности в пространстве входных параметров системы адаптивного регулирования мощности передатчика по коротковолновому каналу связи с замираниями. В имитационной модели выходной сигнал формируется после ряда преобразований, позволяющих с помощью метода Монте-Карло промоделировать случайную величину, имеющую четырёхпараметрический закон распределения плотности вероятности или закон распределения Накагами, которая описывает распространение сигналов в коротковолновом канале связи с замираниями.

Оценка области эффективности имеет вид подмножества результатов имитационных экспериментов с моделью системы, учитывающей стохастический характер среды распространения радиосигнала. Она формируется с помощью алгоритма приближённой оптимизации. Далее необходимо найти строгое аналитическое или приближённое описание этой области, которое позволило бы по значениям входных переменных проверить и предсказать, попадут ли выходные параметры в заданную область, обеспечивая эффективную работу динамической стохастической системы.

Для описания области эффективности можно использовать программный пакет [3], созданный для сравнения существующих алгоритмов идентификации в процессе обработки экспериментальных данных, полученных на реальных объектах или в

процессе имитационного моделирования. Все рассматриваемые алгоритмы идентификации представляют собой нелинейные функции, следовательно, вычисление аналитических характеристик для большинства алгоритмов сталкивается со значительными трудностями. Аналитические модели объектов, которые используются для решения практических задач адаптивного управления, обычно имеют высокий порядок дифференциальных или разностных уравнений и произвольное количество входных параметров. Для получения убедительных результатов описания объекта аппроксимирующей гипотетической «обобщённой» моделью (1) в пакете реализованы процедуры формирования разнообразных входных сигналов и возможность проверки различных типов нестационарных параметров.

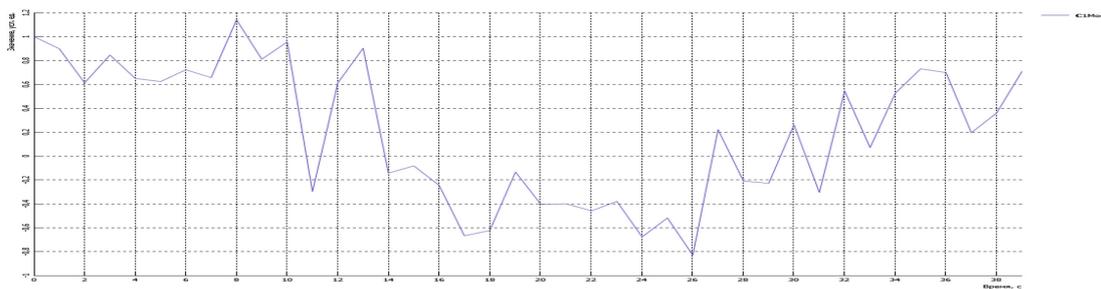
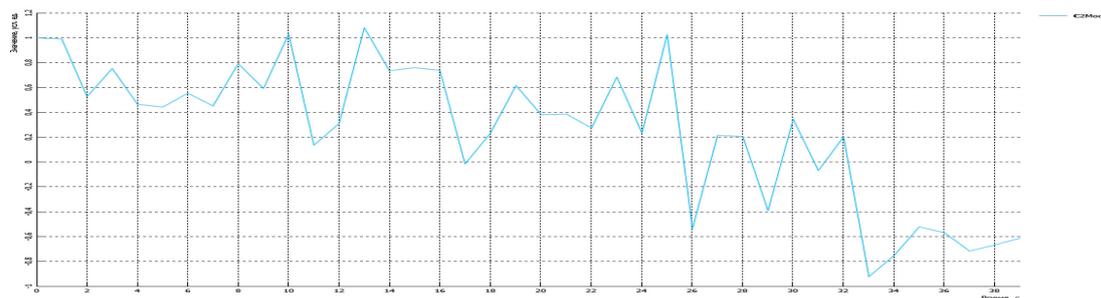
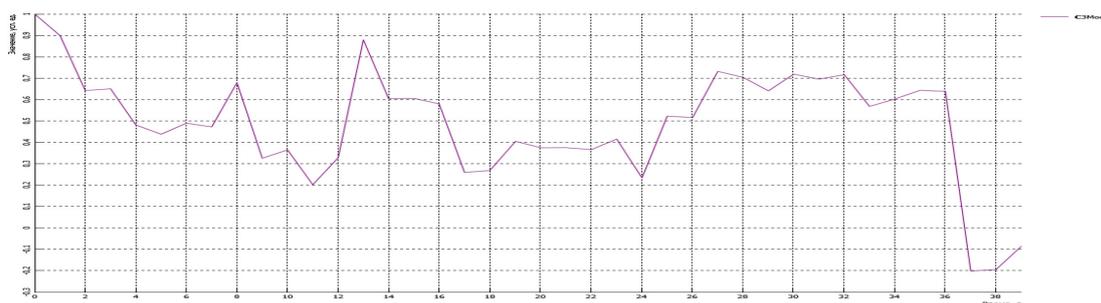
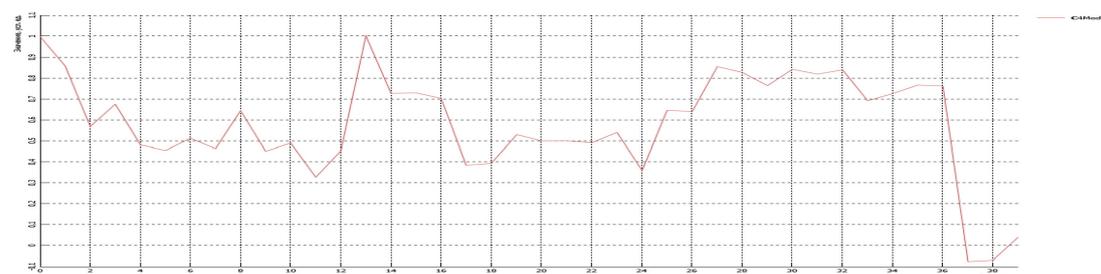
Рис.3. Изменение во времени коэффициента модели c_1 .Рис.4. Изменение во времени коэффициента модели c_2 .Рис.5. Изменение во времени коэффициента модели c_3 .

Рис.6. Изменение во времени коэффициента модели c_4 .

Для полной выборки из результатов имитационных экспериментов достаточно хорошее совпадение достигнуто после применения в качестве идентификатора алгоритма Качмажа. Результаты сравнения изменений во времени значений $Y_{ob}(n)$ и $Y_{mod}(n)$ приведены в [1-3]. Графики изменения во времени для четырёх коэффициентов идентификационной модели c_1, c_2, c_3, c_4 показаны на Рис.3–Рис.6 соответственно.

Выводы

Таким образом, получена возможность проследить за изменением идентификационной модели системы адаптивного регулирования мощности передатчика по коротковолновому каналу связи с замираниями во времени. Для этого на приведённых зависимостях фиксируются отдельные временные сечения, определяются значения коэффициентов $c_1(t_i), c_2(t_i), c_3(t_i), c_4(t_i)$ и записывается серия моделей. Рассмотренный пример связан с медленноменяющимися во времени случайными процессами. Для других ситуаций при возможности выделения участков сравнительно медленного изменения во времени можно предложить повторную обработку различных выборок и повторное построение идентификационных моделей. Очевидно, для реализации таких процедур необходимо расширять библиотеку алгоритмов в пакете программ [4].

Литература

1. Antonova G.M., Makarov V.V. Recognition of Nonlinear Functions in LP_τ -Search with averaging // Proceedings of 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New information technologies (PRIA-11-2013). V.2, Samara: IPSI RAS.-2013, pp.387-390. ISBN 978-5-88940-130-8.
2. Galina M. Antonova, Vadim V. Makarov. Identification Approach for Region of Efficiency Recognition in LP_τ - search with Averaging // Columbia International Publishing, International Journal of Computational Intelligence and Pattern Recognition, 2014, vol.1, №1, pp.27-43. <http://ijcipr.uscip.us>; <http://paper.uscip.us/ijcipr/IJCIPR.2014.1002.pdf>.
3. Antonova G. M. and Makarov V. V. Recognition of Nonlinear Functions for Estimating Region of Efficiency in LP_τ -_Search with Averaging // Pattern Recognition and Image Analysis, 2015, Vol. 25, No. 2, pp. 193–200. © Pleiades Publishing, Ltd., 2015. ISSN 1054_6618, DOI: 10.1134/S1054661815020030.
4. Макаров В.В., Михеев А.С. Имитационная система моделирования адаптивной системы управления с идентификатором. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. №2013610594. Заявка

№2012619966. Дата поступления 20 ноября 2012г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013г.