

УДК 621.19

В.Е. Овсянников, В.Ю. Терещенко

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

Широко используемые математические модели динамических объектов (спектральные, корреляционные, процессные и т.д.) не применимы в том случае, если объект не является линейным, т.к. они не учитывают характер изменения его свойств.

Для учета свойств таких объектов в состав математических моделей вводятся нелинейные элементы, основанные на использовании искусственных нейронных сетей, вейвлетов и т.д. Основные схемы моделей нелинейных объектов приведены на рисунках:

Как видно из рис. 1 и 2, оба класса моделей сочетают в себе как линейные, так и нелинейные элементы. Естественно, что точность модели нелинейного объекта зависит от того, какой конкретно нелинейный элемент используется в ее

описываются следующим дифференциальным уравнением [2]:

$$m \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + f_{TP} \cdot \frac{dx(t)}{dt} + k_0 x(t) \cdot (1 + \alpha \cdot x^2(t)) = f \cdot \cos(\gamma t)$$

где  $m$  – масса осциллятора;

$f_{TP}$  – коэффициент трения;

$k_0$  – жесткость пружины в начальный момент времени;

$\alpha$  – коэффициент нелинейности, который характеризует изменение жесткости пружины в зависимости от ее деформации;

$f, \gamma$  – параметры, которые характеризуют величину изменения возмущающей силы.

Зависимость амплитуды колебаний от време-

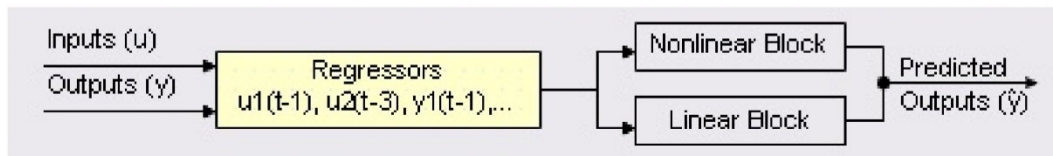


Рис. 1. Модель Nonlinear ARX



Рис. 2. Модель Хаммерштейна-Виннера

составе. На сегодняшний день в качестве нелинейных элементов моделей наиболее часто используются вейвлетные сети, сети с сигмоидной функцией активации, модели, базирующиеся на графах и нейросетевые модели [1].

Проведем анализ эффективности каждой из данных моделей.

В качестве тестового объекта будем использовать нелинейные колебания осциллятора, которые

ни см. рис.3.:

Построение математических моделей и проверка их адекватности производилось при помощи вычислительной среды Matlab. Пример вычисления приведен на рис. 4:

Здесь видно, что данная модель (кривая 1) дает небольшую точность.

Это достаточно легко объясняется с точки зрения теории [2] – дело в том, что при вычисле-

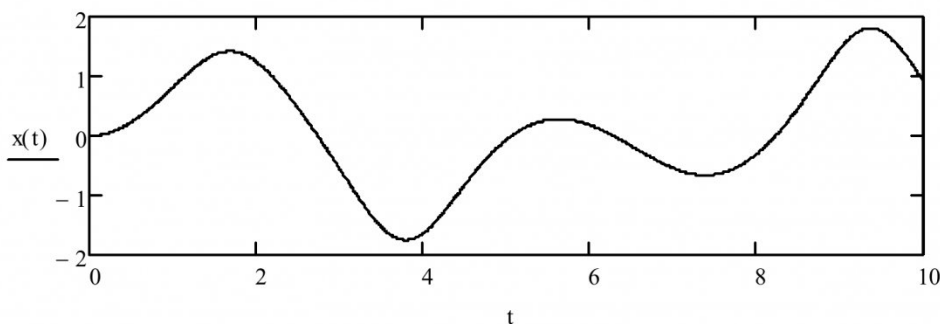


Рис. 3. Фрагмент реализации нелинейных колебаний

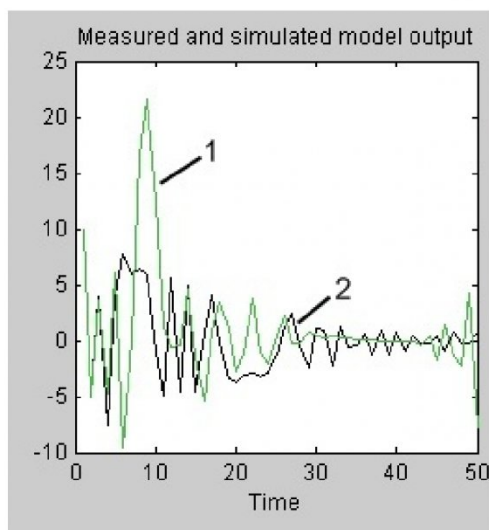


Рис. 4. Результат построение модели с использованием вейвлетов в качестве нелинейного элемента – средняя ошибка вычисления составляет 45%

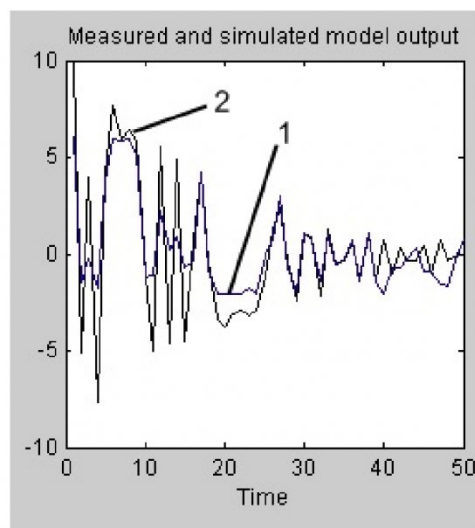


Рис. 5. Результат построение модели с использованием многослойных нейронных сетей в качестве нелинейного элемента – средняя ошибка вычисления составляет 45%

нии вейвлет-преобразования используется так называемый материнский (базовый) вейвлет, и всё преобразование в целом представляет образ данной функции.

Таким образом, использование вейвлетных сетей в качестве нелинейных элементов при построении моделей (в отличие от случаев анализа свойств сигналов) оправдано только в тех случаях когда характер данных соответствует материнскому вейвлету.

Аналогичным образом были построены модели тестового объекта с использованием других нелинейных элементов, анализ точности показал, что оптимальной моделью является модель, по-

строенная по схеме Хаммерштейна-Виннера, с использованием многослойных искусственных нейронных сетей, обучающихся по методу обратного распространения ошибки.

Результат расчета точности данной модели приведен на рис. 5:

В принципе такой результат вполне предсказуем, т.к. из теоремы Стоуна-Вейерштрасса [3] следует, что искусственные нейронные сети имеют неограниченную аппроксимирующую способность, т.е. при помощи нейросети можно сколь угодно точно равномерно приблизить любую функцию на любом ограниченном участке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. - М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. ил.
2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уинвер. – М.: Машиностроение, 1985. – 482 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети полный курс, 2-е издание.: Пер. с англ. /С. Хайкин. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с. ил.

□ Авторы статьи:

Овсянников  
Виктор Евгеньевич,  
канди.техн. наук, старший преп.  
каф. «Инноватики и  
менеджмента качества»  
(Курганский государственный  
университет)  
Email: panz12@rambler.ru,

Терещенко  
Владимир Юрьевич,  
аспирант. каф. «Технология маши-  
ностроения, металлорежущие  
станки и инструменты»  
(Курганский государственный  
университет)  
Email: panz12@rambler.ru,