

## ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Г.А. Самбурский<sup>1</sup>, О.В. Лукьянов<sup>2</sup>, И.В. Храпов<sup>3</sup>

*Кафедра «Эколого-экономический анализ технологий»,  
ФГБОУ ВПО «Московская государственная академия  
тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова», г. Москва (1);  
ЗАО НПФ «ДИЭМ», г. Санкт-Петербург (2); Аналитический центр  
экономического развития, ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (3); Gesamb@yandex.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

**Ключевые слова и фразы:** гибридные системы прогнозирования; искусственные нейронные сети; прогнозирование технологических параметров; сглаживание помех; системы управления; фильтрация.

**Аннотация:** Рассмотрена методика прогнозирования показателей в системах управления технологическими процессами на основе применения искусственных нейронных сетей. Показано, что для снижения размерности таких моделей целесообразно проводить предварительную фильтрацию исходной информации и, таким образом, строить гибридные модели, включающие как алгоритмы предварительной обработки информации с функциями фильтрации помех, так и прогнозирующие алгоритмы на основе нейронных сетей.

---

Прогнозирование играет важную роль в различных областях народного хозяйства и может быть важной частью систем управления технологическими процессами. Предсказывая значения ключевых переменных процесса и используя их для решения задачи управления, можно определить оптимальное время, «адрес», вид и длительность управляющего воздействия. Поскольку условия реализации технологических процессов изменяются во времени, необходимо постоянно контролировать выполнение процессов и также постоянно предсказывать их изменения для успешной реализации производственной программы, выполнения плана и т.д. Эти прогнозы далее могут быть вполне обоснованно преобразованы в требования к оборудованию, полуфабрикатам, материалам, работникам.

В практических задачах прогнозирование обычно осуществляется в условиях одновременного наличия в исходной информации нескольких составляющих как детерминированных, так и случайных, формирующих совместно достаточно широкий спектр наблюдаемых величин. При этом среди составляющих только некоторые, как правило наиболее низкочастотные, отражают полезную информацию; высокочастотные составляющие при этом отражают искажения или помехи. Таким образом, прогнозирование полезного сигнала происходит на фоне помех (случайных шумов) и тесно связано с фильтрацией: для того чтобы уменьшить влияние случайного шума, необходимо, с одной стороны, обеспечить максимальную степень его подавления (сглаживания), с другой стороны, – не допустить существенного искажения полезной информации [1].

В качестве алгоритмов прогнозирования (экстраполяции) получили достаточно широкое распространение так называемые искусственные нейронные сети (ИНС) [2–4]. В то же время особенности и возможности ИНС в условиях прогнозирования зашумленных процессов изучены недостаточно. Это осложняется тем, что ИНС – нелинейная система, динамические характеристики ее конкретных вариантов, как правило, неизвестны, и получить их аналитическое описание не представляется возможным; вследствие этого корректное аналитическое решение задачи прогнозирования (экстраполяции) совместно с решением задачи фильтрации (подавления помех) с использованием ИНС обычно невозможно.

Однако по теории и применению ИНС накоплен обширный методический материал, который позволяет достаточно эффективно использовать такие алгоритмы в конкретных условиях, то есть строить системы прогнозирования на основе нейронной сети (СПНС) (рис. 1) [5].

При этом размерность ИНС (число ее слоев и используемых в слоях элементов) определяется размерностью модели входного процесса. В условиях прогнозирования случайного процесса при наличии шумов модель входного процесса включает модель шумов, причем, чем более детально учитываются свойства шумов, тем более существенно увеличивается размерность ИНС и, в свою очередь, повышается сложность ее реализации и, как правило, снижается точность прогнозирования.

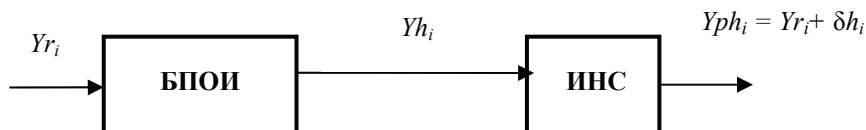
Для снижения размерности ИНС может быть использовано предварительное сглаживание помех – предварительная фильтрация – как предварительная обработка информации перед подачей ее на ИНС для прогнозирования. В качестве блока предварительной обработки информации (БПОИ) могут использоваться различные алгоритмы фильтрации. При этом СПНС становится каскадной, или гибридной (ГСПНС) (рис. 2).

Построение ГСПНС по схеме рис. 2, или идея гибридизации, заключается в том, чтобы подвергнуть прогнозируемый сигнал предварительной обработке с целью «улучшения» его свойств, то есть очистить его от шума, и только после этого подать на вход прогнозирующей ИНС. При этом качество прогнозирования в равной степени определяется как предварительной обработкой, так и преобразованием сигнала в ИНС. В качестве алгоритмов БПОИ могут использоваться различные алгоритмы как линейные, так и нелинейные с разной эффективностью; свойства ИНС как экстраполятора могут существенно отличаться для разных процессов.



**Рис. 1. Блок-схема СПНС:**

$Yr_i$  – последовательность входных данных;  $Yp_i$  – последовательность экстраполированных значений;  $\delta_i$  – погрешность прогнозирования



**Рис. 2. Блок-схема ГСПНС:**

$Yh_i$  – последовательность на выходе БПОИ;  $Yph_i$  – последовательность экстраполированных значений в ГСПНС;  $\delta h_i$  – погрешность прогнозирования в ГСПНС



**Рис. 3. Блок-схема адаптивной настройки БПОИ**

Предпочтение того или иного варианта построения системы прогнозирования – СПНС или ГСПНС – должно основываться на исследовании точности прогнозирования этими системами в условиях работы, то есть на сравнении их погрешностей; применительно к обозначениям (см. рис. 1, 2) это величины  $\delta_i$  и  $\delta h_i$  соответственно.

Кроме того, в изменяющихся условиях ГСПНС, настроенная на некоторые параметры процесса, может утратить точность при изменении ключевых параметров. В связи с этим в таких условиях целесообразно применение адаптивных ГСПНС. При этом адаптация предполагает как оптимальную настройку алгоритма фильтрации в БПОИ, так и настройку ИНС как экстраполятора. Вариант блок-схемы адаптивной настройки БПОИ приведен на рис. 3.

Таким образом, для построения ГСПНС предлагается подход, при использовании которого необходимо:

- подбирать эффективные алгоритмы фильтрации для БПОИ;
- наилучшим образом настраивать ИНС для решения задачи прогнозирования;
- согласовывать между собой БПОИ и ИНС в составе ГСПНС.

#### *Список литературы*

1. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление : пер. с англ. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – 224 с.
2. Барский, А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 175 с.
3. Галушкин, А.И. Теория нейронных сетей / А.И. Галушкин. – М. : ИПРЖР, 2000. – 102 с.
4. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский : пер. с пол. И.Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
5. Али, М.А. Neural Networks Time Series Forecasting / М.А. Али // Мат. Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-19)» / под ред. проф. В.С. Балакирева. – Воронеж : 2006. – Т. 6. – С. 46–48.

## Approach to the Construction of Hybrid Forecasting Systems on the Basis of Neural Networks

G.A. Samburskiy<sup>1</sup>, O.V. Lukyanov<sup>2</sup>, I.V. Khrapov<sup>3</sup>

*Department "Environmental-Economic Analysis of Technologies", Moscow State Academy of Fine Chemical Technology named after M.V. Lomonosov, Moscow (1); ZAO NPF "DIEM", St. Petersburg (2); Analytical Center of Economic Development, TSTU (3); Gesamb@yandex.ru*

**Key words and phases:** artificial neural networks; control systems; filtration; forecasting; forecasting of technological parameters; hybrid systems of smoothing of hindrances.

**Abstract:** The article considers a forecasting technique of indicators in control systems of technological processes on the basis of artificial neural networks application. It is shown that for dimension decrease in such models it is expedient to take a preliminary filtration of the initial information and, thus, to build the hybrid models including both algorithms of preliminary processing of the information with functions of a hindrances filtration and predicting algorithms on the basis of neural networks.

---

### Herangehen zum Anbau der Hybridsysteme der Prognostizierung auf Grund der Neuronnetze

**Zusammenfassung:** Es ist die Methodik der Prognostizierung der Werte in den Systemen der Steuerung von den technologischen Prozessen auf Grund der Benutzung der künstlichen Neuronnetze betrachtet. Es ist gezeigt, daß für die Senkung der Dimension solcher Modelle muss man die Vorfiltration der Ausgangsinformation durchführen und die Hybridmodelle, die sowohl die Algorithmen der Vorherbearbeitung der Information mit den Funktionen der Störungsfilterung als auch die prognostizierenden Algorithmen auf Grund der Neuronnetze enthalten, anbauen.

---

### Approche vers la construction des systèmes hybrides de la prévision à la base des réseaux de neurons

**Résumé:** Est examinée la méthode de la prévision des indices dans les systèmes de la commande des processus technologiques à la base de l'emploi des réseaux de neurons artificiels. Est montré que pour la diminution des dimensions de tels modèles est utile d'effectuer une filtration préalable de l'information initiale et de construire ainsi des modèles hybrides comprenant les algorithmes du traitement préalable de l'information de la filtration des erreurs et les algorithmes de la prévision à la base des réseaux de neurons.

---

**Авторы:** *Самбурский Георгий Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эколого-экономический анализ технологий», ФГБОУ ВПО «Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова», г. Москва; *Лукьянов Олег Викторович* – кандидат технических наук, заместитель директора по проектным работам, ЗАО НПФ «ДИЭМ», г. Санкт-Петербург; *Храпов Игорь Викторович* – кандидат технических наук, директор Аналитического центра экономического развития, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Корнюшко Валерий Федорович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии», ФГБОУ ВПО «Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова», г. Москва.