

УДК 004.896, 66.012-52, 681.544

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Н.Г. Губанов, А.А. Кузичкин*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Предлагается комбинированный интеллектуальный способ, призванный идентифицировать математические модели ХТП, предоставляющие возможность минимизации продолжительности нахождения настроечных коэффициентов благодаря использованию нейронной сети для снижения количества этапов поисковых итерационных алгоритмов на разных стадиях идентификации. Цель представленной работы заключается в разработке комбинированного интеллектуального метода, который способен идентифицировать математические модели ХТП. Такой метод совмещает НС и традиционный итерационный алгоритм, чтобы уменьшить время нахождения настроечных коэффициентов. Причем НС, которая считается достаточно простой в обучении и имеет упрощенную структуру, применяется, чтобы определить приближенное значение настроечного коэффициента математической модели. С целью анализа применялись экспериментальные данные, которые были получены с установки, осуществляющей каталитический риформинг в АО «СНПЗ». Данные направлялись на вход двух математических моделей. Чтобы идентифицировать первую модель, использовался традиционный итерационный способ без НС. Чтобы идентифицировать вторую модель, использовался разработанный способ итерационно-нейросетевого определения, который применяет НС с целью компенсации этапов поискового алгоритма.*

**Ключевые слова:** *каталитический риформинг, нейросетевые технологии, комбинированный интеллектуальный способ, итерационные алгоритмы, способ итерационно-нейросетевого определения.*

### **Введение, постановка задачи**

Постоянное усовершенствование компьютерной техники и повышение вычислительной мощности микропроцессорных управляющих устройств дают возможность применять в новейших системах управления ХТП сложные математические модели в качестве наиболее точно описывающих моделируемый процесс и особенности его протекания. Наряду с этим одна из проблем, которая затрудняет развитие в этом направлении, заключается в обеспечении адекватности математической модели предмета управления в течение достаточно продолжительного временного периода [1].

Математические модели, которые применяют в системах управления ХТП, разделяются на две группы [2]. К первой группе относятся аналитические модели, которые основываются на теоретическом анализе химических и физических процессов, происходящих в исследуемом предмете, а также учете конструкций установок и характеристик перерабатываемого сырья. Ко второй группе относятся эмпирические модели, которые рассматривают ХТП как «черный ящик». Такие модели основаны на анализе выходной и входной информации определенных объектов управления.

---

*Николай Геннадьевич Губанов (к.т.н., доц.), заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами».*

*Алексей Анатольевич Кузичкин, аспирант.*

Для моделей, принадлежащих к первой группе, по причине их сложности требуются значительные временные затраты на стадии идентификации. Чтобы уточнить все настроечные коэффициенты модели, понадобится продолжительное время, так как при поиске с применением традиционных итерационных методов в процессе поиска каждого из коэффициентов требуется неоднократно, на любом этапе поискового алгоритма, выполнять просчет математической модели процесса, чтобы установить, получено ли искомое значение (рис. 1). В результате время, расходуемое на идентификацию, прогнозируется с трудом, что не дает возможности эффективного использования подобных моделей в распространенных АСУ, которые реализуют режимы квазиреального и реального времени на различных степенях системы и предъявляют значительные требования к качеству и оперативности управления процессом [5].

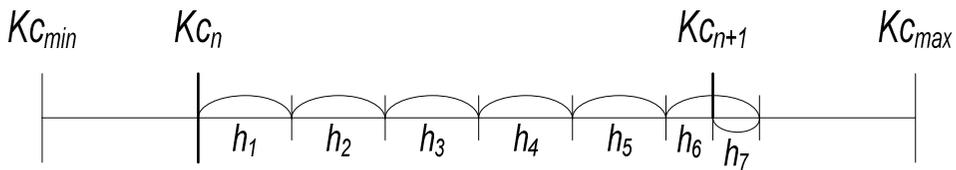


Рис. 1. Идентификация ММ способом последовательных приближений, с применением изменения направления и шага поиска

$Kc_{min}, Kc_{max}$  являются диапазоном потенциальных значений настроечного коэффициента;  $Kc_n$  – известным значением настроечного коэффициента;  $Kc_{n+1}$  – искомым значением настроечного коэффициента;  $h_1...h_7$  – шагами итерационного способа поиска настроечного коэффициента; величина шага  $-h_7 = h_6 / 2$ .

Отличие моделей, принадлежащих ко второй группе, состоит в низкой объяснимости полученных результатов. Кроме этого, ими не учитываются тонкости реакций, происходящих в моделируемом объекте, и поэтому в случае значительного изменения входных координат процесса они стремительно теряют адекватность, требуются постоянная текущая их идентификация.

Применением искусственных нейронных сетей (НС) на стадии идентификации можно частично решить такую проблему, а также определить настроечные коэффициенты почти моментально благодаря аппроксимации информации о найденных ранее коэффициентах модели [1, 2]. Впрочем, такой подход имеет и некоторые существенные недостатки.

НС, которая учитывает все параметры, оказывающие влияние на адекватность математической модели, в действительности является избыточно сложной и для формирования и корректировки соответствующей обучающей выборки требует значительных затрат времени. В случае значительного изменения характеристик моделируемого процесса (чистка фильтров, аппаратов и др., замена или регенерация катализатора) выборка значений, согласно которой осуществлялось обучение НС, перестает считаться актуальной и расчет настроечных коэффициентов по НС становится неосуществимым или осуществимым с высокой погрешностью. На переобучение НС и подготовку новой обучающей выборки потребуются длительный период. Упрощение структуры НС, которая используется с целью идентификации, также влечет за собой снижение корректности установле-

ния настроечных коэффициентов и в результате снижение адекватности модели, подвергаемой идентификации [3, 4].

Цель представленной работы заключается в разработке комбинированного интеллектуального метода, который способен идентифицировать математические модели ХТП. Такой метод совмещает НС и традиционный итерационный алгоритм, чтобы уменьшить время нахождения настроечных коэффициентов [6]. Причем НС, которая считается достаточно простой в обучении и имеет упрощенную структуру, применяется, чтобы определить приближенное значение настроечного коэффициента математической модели. Чтобы осуществить дальнейший поиск настроечного коэффициента с существенно меньшим числом этапов и заданной точностью, используется итерационный алгоритм (рис. 2).

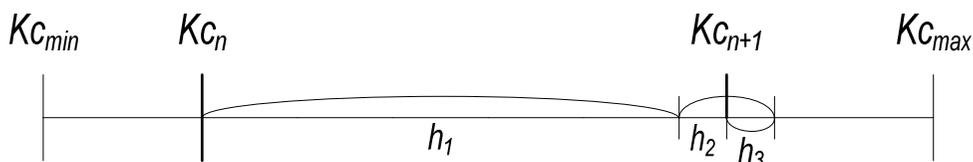


Рис. 2. Итерационно-нейросетевое определение математической модели

$h_1$  считается дистанцией поиска (скомпенсированная НС), а  $h_2, h_3$  – шагами, которые выполняются итерационным алгоритмом.

При работе алгоритма идентификации БД, которая содержит информацию о ранее найденных настроечных коэффициентах, будет непрерывно расти. Соответственно, будет непрерывно увеличиваться и число примеров для обучения НС, а значит, и правильность установления настроечных коэффициентов. Когда погрешность установления нейронной сетью настроечных коэффициентов сопоставима с погрешностью применяемых итерационных алгоритмов, рассчитать настроечные коэффициенты математической модели можно исключительно посредством НС и практически моментально [3].

На рис. 3 представлен обобщенный метод итерационно-нейросетевого определения математических моделей ХТП.

Экспериментальные данные (рассчитанные согласно математической модели) с технологического объекта поступают на вход метода идентификации. Проверяется адекватность модели при помощи анализа функции ошибок модели. В случае, когда требуется идентификация, выполняется процедура циклического уточнения настроечных коэффициентов  $K_1 \dots K_n$  начиная с последнего до момента, пока не будет выполнено условие минимального числа функции ошибок. Чтобы минимизировать количество этапов поискового алгоритма, расчет исходного приближенного значения настроечных коэффициентов выполняют по НС. В дальнейшем значения настроечных коэффициентов уточняют при помощи итерационного метода, изменяя направление и шаг поиска. Выполняется передача уточненных настроечных коэффициентов на вход математической модели.

Эффективность предлагаемого способа итерационно-нейросетевого определения математических моделей проверялась при помощи модифицированной кинетической модели трехреакторного блока установки Л35-11/600, предназначенной для каталитического риформинга. Данная модель является системой из трех соединенных последовательно кинетических моделей некоторых реакторов, имеющих три индивидуальных настроечных коэффициента [4].

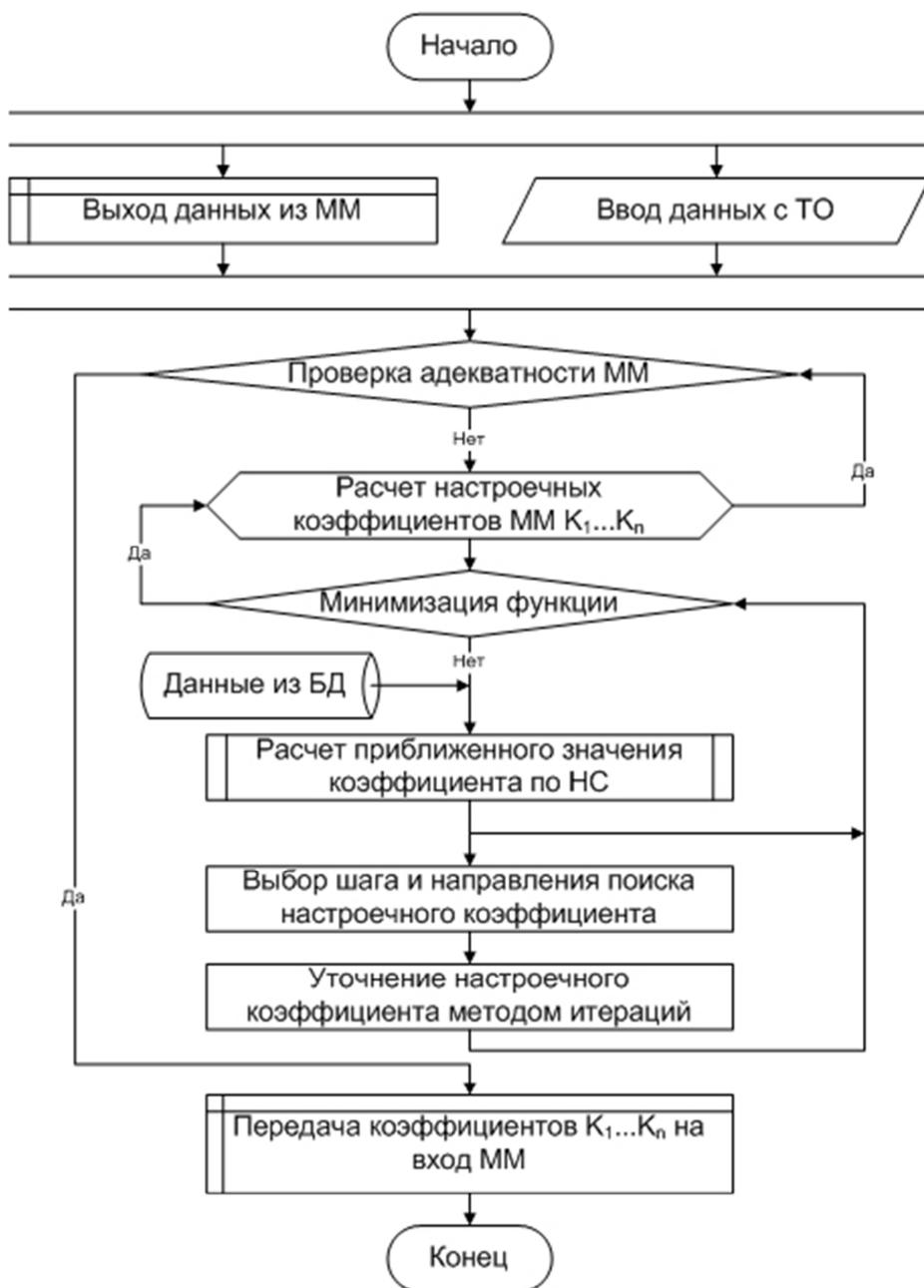


Рис. 3. Обобщенный метод итерационно-нейросетевого определения математических моделей ХТП

Нейросетевая часть способа идентификации реализовывалась на базе НС, которая обучена в соответствии с принципом обратной распространности ошибки как трехслойный персептрон, имеющий один скрытый слой (рис. 4).

В скрытом слое оптимальное число нейронов устанавливалось экспериментально и равнялось семи. Дальнейший рост числа нейронов не дал видимого повышения точности в расчете настроечного коэффициента, но существенно увеличил объем исходных данных, необходимых для того, чтобы обучить сеть.

Как активационная функция нейрона применялся сигмоид:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$$

Также экспериментально подбирался и параметр сигмоида, который равнялся 0,92. Итерационный компонент метода реализован на базе способа поразрядного приближения со сменой направления и шага поиска.

Продолжительность работы метода идентификации в значительной степени зависит от программных и аппаратных особенностей ПК, на котором осуществляются исследования. Поэтому, чтобы дать количественную оценку эффективности использования нейронной сети, применялся такой параметр, как совокупное количество итераций, которые совершены поисковым алгоритмом в процессе идентификации математической модели некоторого реактора, осуществляющего каталитический риформинг. Это дало возможность определить число этапов поискового итерационного алгоритма, которые скомпенсированы НС, что почти линейно сопоставляется со временем, расходуемым на идентификацию математической модели.

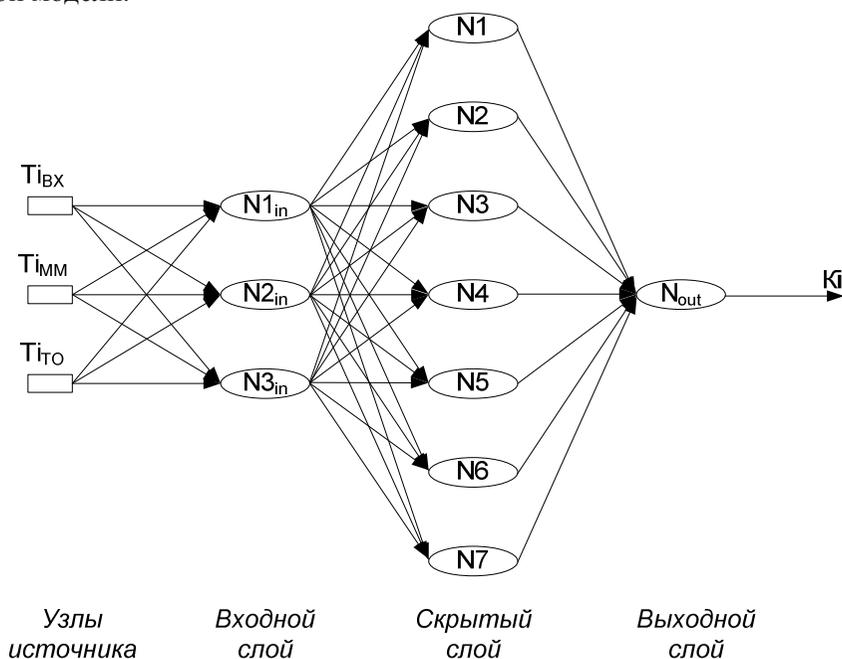


Рис. 4. Структура нейронной сети, трехслойный перцептрон

$K_i$  считается настроечным коэффициентом модели некоторого реактора, а  $T_i$  – корректирующим фактором модели, перепадом температур на выходе реактора.

С целью анализа применялись экспериментальные данные, которые были получены с установки, осуществляющей каталитический риформинг в АО «СНПЗ». Данные направлялись на вход двух математических моделей. Чтобы идентифицировать первую модель, использовался традиционный итерационный способ без НС. Чтобы идентифицировать вторую модель, использовался разработанный способ итерационно-нейросетевого определения, который применяет НС с целью компенсации этапов поискового алгоритма.

По результатам сравнительного анализа установлено, что в случае использования НС совокупное количество итераций, которое потребуется, чтобы найти новое значение настроечного коэффициента математической модели, снижается на 34...75 % при 800 обучающих примерах и на 18...35 % при 300 обучающих примерах для нейронной сети.

### **Вывод**

Выполненная опытная проверка предлагаемого комбинированного метода итерационно-нейросетевого определения математических моделей ХТП установила, что использование НС с целью компенсации этапов поискового итерационного метода предоставляет возможность снижения времени идентификации на 30–70 %. С увеличением обучающей выборки данная тенденция для НС будет сохраняться.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Козлов В.Н.* Системный анализ, оптимизация и принятие решений. – СПб.: Проспект, 2010. – 176 с.
2. *Оганезов А.Л.* Применение нейронных сетей в задачах распознавания образов: Дисс. ... к. ф.-м. н. – Тбилиси, 2006.
3. *Лисицын Н.В.* Оптимизация нефтеперерабатывающего производства. – СПб.: Химиздат, 2003. – 184 с.
4. *Кузичкин А.А.* Статическая оптимизация процесса каталитического риформинга // *Естественные и технические науки.* – 2017. – № 10 (112). – С. 106–112.
5. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс: 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
6. *Галушкин А.И.* Нейронные сети. Основы теории. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 496 с.

*Статья поступила в редакцию 25 сентября 2017 г.*

## **DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF MATHEMATICAL MODELS WITH THE USE OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES**

***N.G. Gubanov, A.A. Kuzichkin***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*The article proposes a combined intellectual method intended to identify mathematical models of CTP that provide an opportunity to minimize the length of the finding of tuning coefficients by using a neural network to reduce the number of stages of search iterative algorithms at different stages of identification. The purpose of this work is to develop a combined intellectual method that is able to identify mathematical models of CTP. This method combines the NN and the traditional iterative algorithm to reduce the time of finding the tuning coefficients. And the NN, which is considered fairly simple to learn and has a simplified structure, is used to determine the approximate value of the tuning coefficient of the mathematical model. For the purpose of analysis, experimental data were used, which were obtained from an installation carried out by catalytic reforming at JSC "SR". Data was sent to the input of 2 mathematical models. To identify the first model, a traditional iterative method without NN was used. In order to identify the second model, a developed method of iterative-neural network determination was used, which is used by the NN to compensate for the stages of the search algorithm.*

**Keywords:** *catalytic reforming, neural network technologies, combined intellectual method, iterative algorithms, method of iterative-neural network definition.*

---

*Nikolay G. Gubanov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Aleksey A. Kuzichkin, Postgraduate Student.*