

УДК 621.365

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ДСП

РАХМАНОВ Р.Н.

Институт Физики НАН Азербайджана

Рассмотрены вопросы применения искусственных нейронных сетей (ИНС) для моделирования режимов прогнозирования параметров электрической сети с ДСП. Приводятся результаты применения ИНС для прогнозирования величины полного сопротивления сети печи.

В настоящее время в мире более чем на 30-ти установках ДСП уже применены нейросетевые технологии – нейронные регуляторы в качестве оптимизаторов электрического режима ДСП. Естественное распространение этой технологии является развитием методов искусственного интеллекта для оптимизации и координации использования всех энергоресурсов в процессе плавления в ДСП (электрической энергии, кислорода, газа, углерода). Высокая энергоёмкость современных ДСП и рост стоимости энергоресурсов делают проблему их минимизации в сталелитейном производстве очень важной. При этом одной из основных задач является ускорение процессов в ДСП путём оптимального управления вводимой электрической мощностью.

До последнего времени широко используется, так называемое, «стадийное» управление, которое основывается на определении для каждой стадии плавки соответствующих заданий регулятору и ступени напряжения трансформатора. При этом применяются статические или динамические методы определения границ стадий процесса плавления. В случае применения статических методов такие границы для стадий процесса устанавливаются по величине расхода электроэнергии, задаваемой на основе опытов и расчётов. Динамические методы базируются на определении конкретной ситуации в печи с использованием измерений. Подобное «стадийное» управление основывается на предположении о неизменности условий внутри стадий. Задача управления сводится к определению границ стадий и выбору рациональных электрических режимов для каждой стадии.

Электрические характеристики печи постоянно изменяются в течение плавки – нет двух идентичных нагрузок, поэтому трудно осуществить оптимальное управление. В большинстве случаев чрезвычайно сложно формализовать все управляющие действия для ведения электрического режима с помощью оператора. Эти сложности, в первую очередь, обусловлены отсутствием модели, имитирующей режим в реальном времени, и прогноза его параметров, по которым выбирается наилучший предшествующий режим.

В работе, на основе аппарата нейронной сети, даётся развитие динамического моделирования режима электрической цепи с ДСП, реализуемого в виде обучения, прогнозирования и идентификации текущей модели для оптимального регулирования режимом печи.

Для режима электрической сети с дугой модель нейронной сети, используемая в контуре управления режимом ДСП, предполагается идентифицировать в виде зависимости полного сопротивления схемы сети от напряжения и тока в ней. Основанные на искусственных нейронных сетях дискретные идентификационные модели называются нейроизоляторами [1,2,3]. С помощью таких эмуляторов

оценивается значение прогноза величины сопротивления цепи ДСП на несколько шагов вперёд, отталкиваясь от сделанных ранее предсказаний. Цель идентификации в данном случае, как раз и состоит в оперативном построении прогноза величины изменения полного сопротивления (Z_c) электрической схемы цепи ДСП при её функционировании.

Модель, которую предлагается использовать для прогнозирования величины Z_c на один шаг вперёд, реализована в виде многослойной сети. Теоретически число слоёв и число нейронов в каждом слое может быть произвольным, однако, как показывает опыт использования нейронных сетей, для задач прогнозирования режимов систем электроснабжения достаточна модель двух-трёхслойной нейронной сети.

Основу каждой нейронной сети составляют относительно простые, в большинстве случаев однотипные элементы, имитирующие работу мозга. Вход каждого нейрона одного слоя связан со всеми выходами нейронов предыдущего. Соответственно выход каждого нейрона одного слоя связан со всеми входами последующего слоя. Общий вид нейрона приведён на рис.1. Текущее состояние нейрона характеризуется величиной взвешенной суммы его входов w_i , которая по физическому смыслу эквивалентна электрической проводимости:

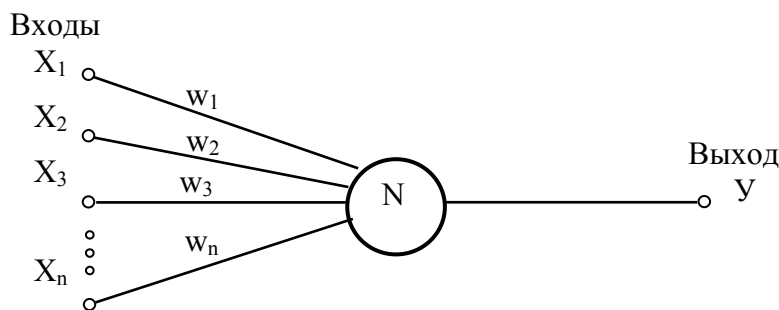


Рис.1. Искусственный нейрон

$$S = \sum_{i=1}^n X_i \cdot W_i \quad (1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния

$$y = f(S) \quad (2)$$

Наиболее распространённым видом функции $f(S)$, обычно называемой функцией активации, является сигмоид

$$f(S) = \frac{1}{1 - e^{-\alpha S}}$$

Для решения задачи прогнозирования полного сопротивления электрической цепи ДСП разработан алгоритм нейросетевого моделирования, который реализуется в виде следующих вычислительных процедур:

1. Определение схемы нейронной сети – числа входов, количества слоёв и числа нейронов в каждом слое.

Например, для нейронной сети, моделирующей полное сопротивление схемы электрической сети, входами являются текущие значения действующих токов и напряжений в фазах цепи, активные и реактивные мощности, положения регулирующего устройства печного трансформатора (рис.2). Число нейронов первого слоя непосредственно связано с числом входных переменных. Число промежуточных слоёв и число нейронов в каждом из них устанавливается расчётным экспериментом в процессе предварительного обучения. Рекомендации по выбору числа нейронов в промежуточных слоях приводятся в [2,3].

2. Обучение искусственной нейронной сети является автоматическим процессом определения весовых характеристик связей между нейронами. Необходимый для этого «тренинг» сети производится с помощью алгоритма обратного распространения (нейропарадигма – «back propagation»), который минимизирует среднеквадратичное отклонение текущего значения выхода сети от её значения, задаваемого тестовой (обучающей) выборкой входных и выходных значений параметров печи. Построенные таким путём нейронные модели называются нейроэмуляторами.

3. Прогнозирование на один шаг вперёд величины полного сопротивления электрической схемы системы электроснабжения ДСП с помощью построенных нейроэмуляторов. Для получения прогнозного значения этого сопротивления на входы эмулятора подаются соответствующие значения контролируемых режимных параметров.

На основе проведения модельных экспериментов для разных структур нейросети (рис.2) и заданных замеров минутных значений входных и выходных параметров получены результаты прогноза соответствующих значений полного сопротивления цепи печи. В качестве обучающей программы был использован программный эмулятор [3]. В процессе расчёта данная программа выполняет обучение нейросети, фиксирует и сохраняет модель для определения прогнозных оценок выхода и их анализа.

Для обучения нейросети были использованы данные замеров электрического режима печи на различных плавках и при различных положениях регулирующего устройства ПТ и реактора. В таблице приведены одиннадцатиминутный фрагмент обучающей выборки для типовой плавки с фиксированными параметрами элементов схемы сети, а также значение прогноза полного сопротивления на одну минуту вперёд.

Из анализа полученных результатов установлено, что среднеквадратичские погрешности нейропрогнозов по отношению к фактическим данным составляют соответственно для:

- полного среднего сопротивления цепи – 1,02% ;
- среднего значения активной мощности – 3,0%.

Таким образом, смоделировав процесс прогнозирования с помощью нейронной сети, можно решить задачу адаптивного управления (АУ) электрическим режимом ДСП. Если (АУ) осуществляется по принципу ПИД – регулирования, то в процессе обучения достигается непрерывная коррекция параметров интегральной, дифференциальной и пропорциональных составляющих этого регулятора. При этом, в процессе обучения НС сообщает системе (АУ) дополнительную информацию о правильности отработки её реакции на текущие изменения режима. Схема системы (АУ) с НС в общем случае представлена на рис.2.

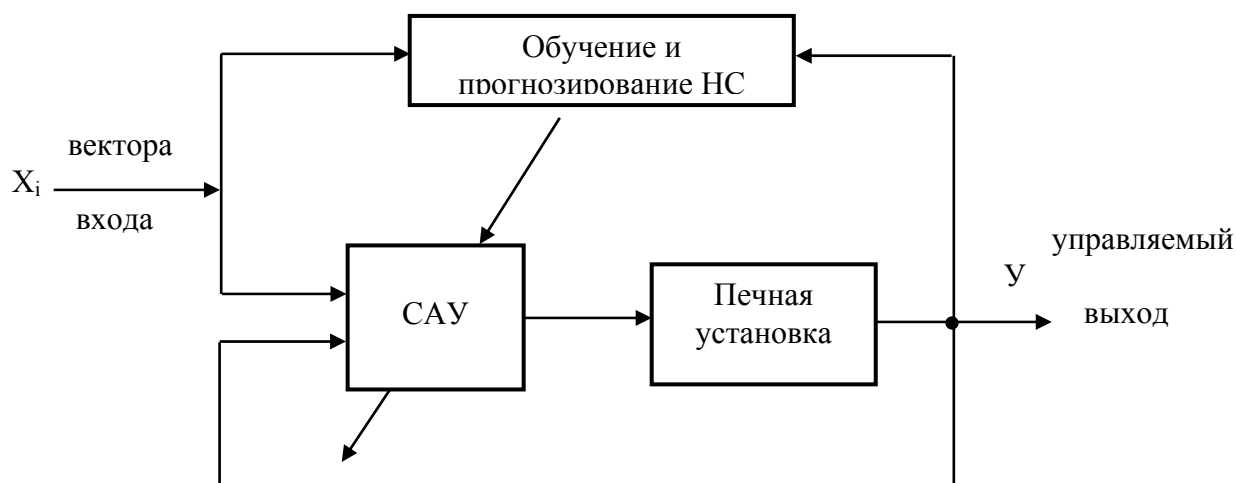


Рис.2. Схема адаптивного управления электрическим режимом ДСП с обучаемой нейросетевой моделью.

Таблица

Фрагмент обучающей выборки параметров электрического режима печи
и прогнозные оценки полного сопротивления сети (замеры с минутным усреднением)

Входные и выходные параметры нейромодели	Обучающая выборка параметров (измерения в интервале 11 минут)											Прогноз и эталонная выборка на 1 минуту
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Среднее действующее значение фазного напряжения, В	19321	19524	19728	19931	20134	20134	20134	20338	20338	20338	20338	$\frac{20338}{20134}$
Среднее действующее значение фазного тока, А	225	228	230	233	235	237	240	242	237	237	247	$\frac{240}{252}$
Среднее значение активной мощности, МВА	11,4	11,52	11,64	11,76	12,0	12,24	12,48	12,72	12,96	11,52	11,76	$\frac{11,52}{11,88}$
Среднее значение реактивной мощности, Мвар	7,68	7,76	7,84	8,0	8,08	8,08	8,32	8,30	8,24	8,56	8,24	$\frac{7,92}{8,01}$
Коэффициент мощности	0,78	0,79	0,80	0,82	0,81	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	$\frac{0,804}{0,812}$
Среднее значение полного сопротивления цепи ДСП, Ом	81,6	82,4	83,3	84,1	85,0	85,0	85,0	85,8	86,7	88,0	88,0	$\frac{85,88}{85,01}$

Выводы

1. Предложена методика моделирования динамики электрических режимов в системе электроснабжения дуговой сталеплавильной печи с помощью искусственных нейронных сетей, которая позволяет в реальном времени получать оценки прогнозных значений контролируемых параметров цепи печи.
2. На основе разработанного нейросетевого алгоритма для ДСП Бакинского Сталеплавильного Завода проведены расчётные эксперименты и получены прогнозные значения полного сопротивления электрической цепи печи на различных этапах плавки. Установлена высокая точность получаемых оценок прогноза.
3. Предложена структура системы адаптивного управления электрическим режимом ДСП на базе нейросетевых моделей.

-
1. *Rahmanov N.R., Rahmanov R.N., Quliyeva S.T., Meshkini B.* // Improved implementation of genetic algorithms on power economic dispatch. Conference Proceeding. Second International Conference on Technical and Physical in Power Engineering. 6-8 September 2004, Tabriz, Iran.
 2. *Stroyev V.A., Rahmanov N.R., Rahmanov R.N., Meshkini B.* // Application of intellectual computing methods in solving energy conservation problems.// Proceedings of the sixth Baku International «Energy, Ecology, Economy». Baku, 2002, p.89-95
 3. *Wilson E., Kan M., Mirle A.* // Intelligent technologies for electric arc furnace Optimization. ISS Technical paper, 2002, p.1-6

QÖVS POLADƏRİTMƏ SOBALARININ ELEKTRİK GÜCÜNÜN TƏNZİMLƏNMƏSİ ÜÇÜN NEYRON ŞƏBƏKƏSİ MODELİNİN TƏTBİQİ

RƏHMANOV R.N.

Qövs poladəritmə sobalarının elektrik şəbəkəsinin rejimlərinin modelləşdirilməsində və parametrlərinin proqnozlaşdırılmasında süni neyron şəbəkələrindən (SNŞ) istifadə edilməsi məsələlərinə baxılıb. Qövsün elektrik şəbəkəsinin tam müqavimətinin proqnoz qiymətinin SNŞ ilə alınan nəticələri verilir.

USE OF NEURAL NETWORK MODEL TO ARC FURNACE OPERATION REGULATION

RAHMANOV R.N.

The implementation problems of artificial neural networks (ANS) to operation modeling and parameters forecasting for Arc Furnace network are examined. The estimated forecasting results of Arc Furnace electric circuit reactance are also represented.