

УДК 621.316.15:004-047.72:004.032.26

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕТОДАМИ НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ**

Т.В. Алферова, Т.А. Трохова

УО «Гомельский государственный технический университет им.
П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В процессе проектирования и эксплуатации городских электрических сетей возникает проблема прогнозирования электрических нагрузок на определенный временной период, обусловленная технологическими и экономическими причинами. Используемый в большинстве случаев для прогнозирования электрических нагрузок метод экспертных оценок в реальных условиях эксплуатации не обеспечивает требуемую точность прогноза. В работе представлен подход к решению задачи прогнозирования электрических нагрузок городской электросети на основе искусственной нейронной сети. Рассмотрены возможности применения методологии нейронных сетей в энергетике, выполнен анализ существующих задач применения нейрокомпьютеров в системах управления энергетическими системами. Поставлена задача формирования нейронной сети для прогнозирования нагрузок электросетей. Исследована возможность применения систем компьютерной математики для реализации нейронных сетей. Разработана реализация нейронной сети в системе компьютерной математики Matlab. Выполнена настройка и обучение сети на реальных исходных данных. Приведены целевые и входные данные для создания нейронной сети, результаты ее обучения. Выполнены тестовые расчеты электрических нагрузок и электропотребления, полученные с помощью нейронной сети, вычислена погрешность моделирования, сделан вывод о том, что модель, построенная на основе нейронной сети, адекватна.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, прогноз электрических нагрузок, компьютерная модель нейронной сети, погрешность моделирования, адекватность модели.

Введение. В настоящее время при решении задач

проектирования и эксплуатации городских электрических сетей часто возникает проблема прогнозирования потребления электроэнергии на определенный временной период [1]. Необходимость решения задач прогнозирования обусловлена технологическими и экономическими причинами. Метод экспертных оценок, который используется в большинстве случаев для прогнозирования потребления электроэнергии, часто не может обеспечить требуемую точность прогноза. Для более точного прогнозирования электропотребления необходимо разработать прогнозную модель, основанную на зависимостях изменения электропотребления в реальных условиях эксплуатации.

Цель данной работы состоит в повышении точности прогнозирования электропотребления городской электрической сети, путем создания прогнозной модели электропотребления с использованием искусственных нейронных сетей.

Применение методологии нейронных сетей в энергетике. С помощью искусственных обучаемых нейронных сетей эффективно решаются неформализованные задачи классификации и прогнозирования в различных проблемных областях. Обучаясь на некоторой таблице данных, нейросеть формирует навык предсказания или классификации и в дальнейшем может решать задачи с высокой точностью [2,3]. Главные достоинства ИНС при прогнозировании заключаются в следующем:

- сбор и обработка данных происходит без временных ограничений, так как есть возможность получения данных напрямую из электроэнергетической системы;
- возможность учета множества параметров, не состоящих в функциональной связи.

Существуют различные технические реализации нейронных сетей, в том числе нейроимитаторы, то есть компьютерные модели нейронных сетей [4]. Нейроимитаторы являются гибкими средствами для изучения сетей и работы с ними. С нейроимитаторами можно выполнять различные операции - обучать, определять наиболее и наименее значимые связи, контрастировать, то есть удалять наименее значимые связи и т. д.

Основными преимуществами и достоинствами нейронных сетей перед традиционными вычислительными системами являются: решение задач при неизвестных закономерностях, устойчивость к шумам во входных данных, адаптация к изменениям окружающей среды, потенциальное сверхвысокое быстроедействие [5].

Применение нейронных сетей в электроэнергетике позволяет оптимизировать процесс производства и распределения электроэнергии, управлять безопасностью и режимами

функционирования энергосистем. Перечень основных задач, решаемых нейрокompьютерами в современных энергетических системах включает такие задачи, как предсказание нагрузки; управление потоками электроэнергии в сетях; диагностика энергосистем с целью определения неисправностей и др. Практические результаты нейромоделирования показывают [8], что ИНС можно использовать для всех видов прогнозирования электрических нагрузок, в том числе и для долгосрочного, минимизируя при этом отрицательное влияние таких факторов, как человеческий фактор, неточность, недостоверность или зашумленность исходных данных.

Перечень задач применения нейрокompьютеров в системах управления энергетическими системами постоянно растет. Ранее некоторые из этих задач решались статистическими и численными методами, использовалось моделирование и методика оперативного управления режимами функционирования электроэнергетических систем. Но развитие технологии нейросетей позволило расширить круг решаемых задач по оценке состояния энергосистемы.

Системы компьютерной математики, такие как *MatLab* и *SciLab*, дают возможность пользователю создать нейронную сеть и включить ее в состав моделей более высокого уровня иерархии, а также производить оперативные расчеты с использованием ИНС [6,7].

В системе *Matlab* можно разработать и обучить нейросеть несколькими способами: программно; с помощью *GUI*-интерфейса *NNTool*; в пакете блочного моделирования *Simulink*. При разработке и обучении нейронной сети для прогноза электрических нагрузок и электропотребления был задействован *GUI*-интерфейс *NNTool*, позволяющий задать все необходимые параметры сети в диалоговом режиме, что облегчает и упрощает работу для пользователя.

Описание компьютерной модели нейронной сети.

Компьютерная модель ИНС была разработана на основе следующих входных параметров:

- T_{cp} – средняя продолжительность светового дня за месяц, ч;
- $L_{\text{л}}$ – длина линии, км;
- $K_{\text{в}}$ – количество выходных и праздничных дней в месяце.

Конкретные числовые значения входных параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Входные данные для создания ИНС

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
K_v	9	8	10	10	10	9	10	8	10	8	9	11
L_l	33,45											
T_{cp}	08:19	09:57	11:55	13:59	15:47	16:44	16:14	14:37	12:37	10:35	08:45	07:45

В качестве целевых данных были приняты электрические нагрузки трансформаторных подстанций одного из районов электрических сетей г. Гомеля в течение 2017 года. Целевые данные для создания ИНС приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Целевые данные для создания ИНС

2017	$P_{нагр}, \text{кВт}$
Январь	948901,32
Февраль	809457,04
Март	790751,1
Апрель	612194,4
Май	606242,51
Июнь	510162
Июль	552029,4
Август	647728,88
Сентябрь	663210,6
Октябрь	738034,36
Ноябрь	862387,2
Декабрь	1001618,06

На этапе создания для полного описания нейронной сети была разработана трехслойная модель сети:

- 1-й слой имеет 100 нейронов,
- 2-й слой 1 нейрон,
- 3-й слой 1 нейрон.

В качестве параметров настройки сети при ее создании были выбраны следующие функции:

- функции обучения *trainlm*, реализующая метод Левенберга-Маркара;
- функция выполнения *mse*, реализующая метод средне-

квадратичной ошибки;

– функция настройки для режима адаптации *learnngdm* - обучающая функция градиентного спуска с учетом моментов.

Тип сети выбран *feed-forwardbackprop* - сеть с прямым распространением сигнала и обратным распространением ошибки.

Для каждого слоя были выбраны различные функции адаптации:

- для первого слоя *logsig* (логистическая функция активации),
- для второго слоя *purelin* (линейная функция активации),
- для третьего слоя *tansing* (функция активации гиперболический тангенс).

После того, как сеть создана, необходимо откорректировать веса нейронов относительно исходных данных и перейти к этапу обучения нейронной сети.

Пример задания параметров обучения приведен на рисунке 1.

showWindow	true	mu	0.001
showCommandLine	false	mu_dec	0.1
show	25	mu_inc	10
epochs	1000	mu_max	10000000000
time	Inf		
goal	0		
min_grad	1e-07		
max_fail	1000		

Рисунок 1- Параметры обучения ИНС

Процесс обучения проводится несколько раз, на каждой новой итерации обучения ИНС все более точно моделирует выходные данные. Полученные результаты моделирования и ошибки после создания сети выводятся в рабочую область *Matlab*. После завершения обучения нейронной сети появляется окно результатов обучения, где можно посмотреть различную информацию и графики (рисунок 2).

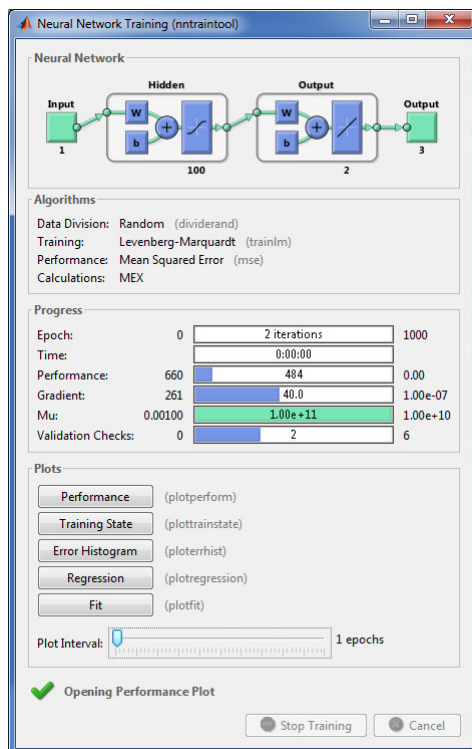


Рисунок 2 – Результаты обучения нейронной сети

На рисунке 3 можно увидеть процесс схождения обучения, проверки и тестирования нейронной сети.

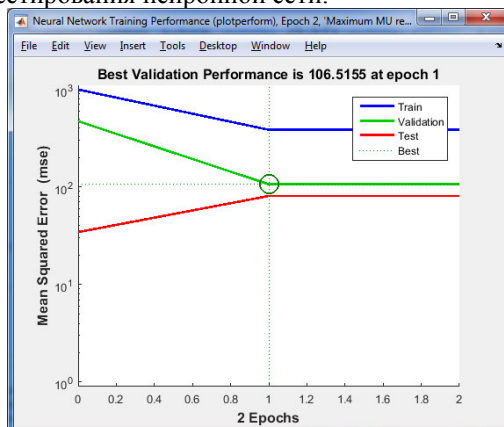


Рисунок 3 – График схождения обучения, проверки и тестирования нейронной сети

На рисунке 4 представлена гистограмма распространения ошибок и функция оптимальных значений.

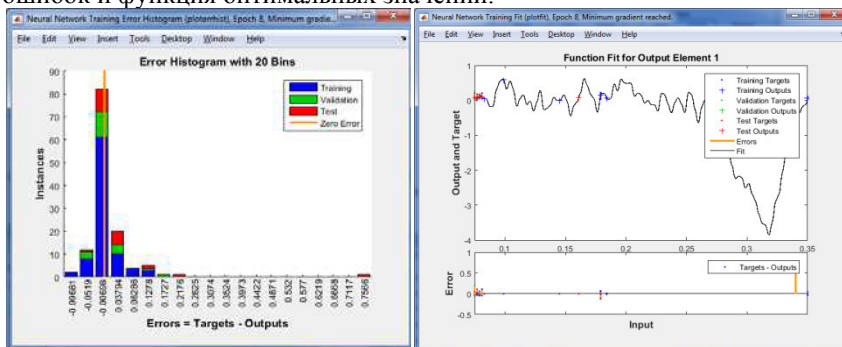


Рисунок 4 - Гистограмма распространения ошибок и функция оптимальных значений

В таблице 3 представлены результаты обучения ИНС. Годовое электропотребление района электрических сетей г. Гомеля за 2017 год составило 8742716,87 кВт·ч, а смоделированное нашей сетью - 8981041,99 кВт·ч.

Таблица 3 – Результаты обучения ИНС

2017	$P_{\text{нагр.пр}}$, кВт
Январь	987553,36
Февраль	825651,12
Март	810263,74
Апрель	617013,6
Май	631305,08
Июнь	559642,5
Июль	559264,18
Август	652404,92
Сентябрь	683677,2
Октябрь	736989,97
Ноябрь	898544,4
Декабрь	1018731,92

Расчет погрешности моделирования ИНС выполняется по следующей формуле:

$$\Delta x = \left| \frac{P_{\Gamma} - P_{\Gamma\text{мод}}}{P_{\Gamma}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{8742716,87 - 8981041,99}{8742716,87} \right| \cdot 100\% = 2,72\%$$

Погрешность моделирования нашей сети составила 2,72%, что говорит о хорошей точности и адекватности ИНС.

После того, как было проведено обучение ИНС, можно ее использовать для получения прогнозных значений потребления электроэнергии.

Выводы.

В статье показана возможность применения методов моделирования с использованием нейронных сетей для прогнозирования нагрузки сетевых объектов, рассмотрена компьютерная модель прогнозирования, базирующаяся на ИНС. Приведены целевые и входные данные для создания ИНС, результаты обучения ИНС. Приведены тестовые данные расчета электрических нагрузок и электропотребления, полученные с помощью нейронной сети, вычислена погрешность моделирования, сделан вывод о том, что модель, построенная на основе ИНС, адекватна.

Список использованных источников

1. Фадеева, Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей : учеб. пособие / Г.А. Фадеева, В.Т. Федин; под общ. Ред. В.Т. Фебина. – Минск : Выш. шк., 2009.-365 с.
2. Каменев, А.С. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей. / Каменев А.С. Королев С.Ю., Сокотущенко В.Н.– М.: ИЦ «Энергия», 2012.-124 с.
3. Заенцев, И.В. Нейронные сети: основные модели. И.В. Зайцев. Учебное пособие к курсу “Нейронные сети” для студентов 5 курса магистратуры к. электроники физического факультета Воронежского Государственного университета. 2005.-135 с.
4. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Изд. дом. “Вильямс”, 2003.-288 с.
5. Хайкин, Саймон Нейронные сети: полный курс. — М.: Вильямс, 2006.- 1104 с.
6. Дьяконов, В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.
7. Медведев, В.С., Потёмкин, В.Г. Нейронные сети. Matlab 6. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.-496 с.
8. Курбацкий, В.Г., Томин, Н.В. Прогнозирование электрической нагрузки с использованием искусственных нейронных сетей // Электрика, 2008. №7

Алферова Тамара Викторовна, кандидат технических наук, доцент, alferowa.tam@yandex.ru, Республика Беларусь, Гомель, Гомельский технический университет имени П.О. Сухого

Татьяна Анатольевна Трохова, кандидат технических наук, доцент, trohova77@rambler.ru, Республика Беларусь, Гомель, Гомельский технический университет имени П.О. Сухого

*COMPUTER FORECASTING OF ELECTRICAL LOADS BY
NEURAL NETWORK METHODS*

Alferova T.B., Trohova T.A.

Abstract. In the process of design and operation of urban electrical networks there is a problem of forecasting electrical loads for a certain time period, due to technological and economic reasons. Used in most cases to predict electrical loads method of expert assessments in real operating conditions does not provide the required accuracy of the forecast. The paper presents an approach to solving the problem of forecasting the electrical loads of the city power grid based on an artificial neural network. The possibilities of application of the methodology of neural networks in power engineering are considered, the analysis of existing problems of application of Neurocomputers in control systems of power systems is carried out. The task of forming a neural network to predict the loads of power grids. Possibility of application of systems of computer mathematics for realization of neural networks is investigated. The implementation of a neural network in the system of computer mathematics Matlab is developed. Configuration and training of the network on real source data was performed. Target and input data for creation of a neural network, results of its training are given. The test calculations of electrical loads and power consumption obtained with the help of a neural network are performed, the modeling error is calculated, the conclusion is made that the model built on the basis of a neural network is adequate.

Key words: artificial neural network, electric load prediction, computer model of neural network, modeling error, model adequacy.

Alferova T.V. Ph.D., Associate Professor, alferowa.tam@yandex.ru, Republic of Belarus, Gomel, Gomel Sukhoi State Technical University

Trohova T.A., Ph.D., Associate Professor, trohova77@rambler.ru, Republic of Belarus, Gomel, Gomel Sukhoi State Technical University