

- [2] Тихвинский В.О., Бочечка Г.С., Минов А.Б. Монетизация сетей LTE на основе услуг M2M. «ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ», № 6, 2014.
- [3] Исследование машин. Продвижение миграции LTE предвещает массовые изменения на глобальных рынках модулей M2M, Лондон, декабрь 2013 г., стр. 52-56.

REFERENCES

- [1] V. O. Tikhvinsky, G. S. Bochechka, B. I. Nurgozhin, A. Z. Aitmagambetov. *Seti IoT/M2M: Tekhnologii, prilozheniya i regulirovaniye* [In Russian: IoT/M2M networks: Technologies, Applications, and regulation.] Almaty: "Ak-Shagyl", 2016, 6-28 s.
- [2] V. O. Tikhvinsky, G. S. Bochechka, A.V. Minov. *Monetizatsiya setey LTE na osnove uslyg M2M*. [In Russian: Monetization of LTE networks based on M2M services.] "TELECOMMUNICATIONS", No. 6, 2014.
- [3] *Issledovaniye mashin. Prodvizheniye migratsii LTE predveshchayet massovyye izmeneniya na global'nykh rynkakh moduley M2M* [in Russian: Machina Research. Advancing LTE migration heralds massive change in global M2M modules markets] London, December 2013., 52-56 s.

ПОСТРОЕНИЕ ЛВС С ПРИМЕНЕНИЕМ M2M

Липская Марина Анатольевна - канд.техн. наук, профессор КазАТК, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан, liimaan78@mail.ru

Матаева Айым Бакытовна - лектор Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан, aiym_mataeva@mail.ru

Сайдахметов Мурад Аблатъевич - канд.техн. наук, ассоциированный профессор, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан, msaidahmet@mail.ru

Оразымбетова Айгуль Каныбековна - доктор PhD, ассоциированный профессор, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г.Алматы, Казахстан, orazymbetova@mail.ru

M2M ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЖЕРГІЛІКТІ ЕСЕПТЕУ ЖЕЛІСІН ҚҰРУ

Липская Марина Анатольевна- техника ғылымдарының кандидаты, ҚазККА профессоры, Қазақ көлік және коммуникация академиясы. М. Тынышпаева, Алматы, Қазақстан, liimaan78@mail.ru

Матаева Айым Бакытовна – Қазақ көлік және коммуникация академиясының лекторы, М. Тынышпаева, Алматы, Қазақстан, aiym_mataeva@mail.ru

Сайдахметов Мурад Аблатъевич - техника ғылымдарының кандидаты, Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы, қауымдастырылған профессор. М. Тынышпаева, Алматы, Қазақстан, msaidahmet@mail.ru

Оразымбетова Айгуль Каныбековна - ғылым докторы, қауымдастырылған профессор, Қазақ көлік және коммуникация академиясы. М. Тынышпаева, Алматы, Қазақстан, orazymbetova@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада M2M желісін сипаттау, қолдану, автоматтандырылған басқару, ақылды үй, кеңсе, басқару, ақылды бағдаршамдар және ақылды камералар және т. б.сонымен қатар M2M көмегімен жергілікті компьютерлік желіні құру. ақылды кеңсені жобалау үшін орналасу, жоба және топология мен жабдықты таңдау.

Түйінді сөздер: M2M, LAN, жұлдыз топологиясы, жоба, 3D, веб-интерфейс, интернет, Wi-Fi, "Лучик"кеңсесі.

The Bulletin of Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev
ISSN 1609-1817. Vol. 116, No.1 (2021), pp.331-338

CREATION OF AN ENERGY CONSUMPTION FORECAST MODEL BASED ON ADAPTIVE NEURO-FUZZY OUTPUT SYSTEM IN MATLAB

Brejdo Iosif Vulfovich, Dr.Sci.(Eng.), Professor, Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan; jbreido@mail.ru

Khomchenko Vasily Gerasimovich, Dr.Sci.(Eng.), Professor, Omsk State Technical University, Omsk, Russia; v_khomchenko@mail.ru

Bulatbayeva Julia Feliksovna, PhD, Docent, Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan; julia_my_angel@mail.ru

Orazgaleyeva Gulnara Dametzhanovna, Master (Eng.), doctoral student, Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan; gulnara388@gmail.com

Abstract. This article is devoted to the development of a neuro-fuzzy model for predicting time series. A detailed algorithm for constructing a predictive model of energy consumption based on an adaptive neuro-fuzzy Takagi-Sugeno output system is presented. The authors consider the principle of operation of the neuro-fuzzy inference system. The necessity of using a hybrid neuron-fuzzy model is substantiated. The technique of preparing the initial data for analysis is described. To build the model, the MatLab environment is selected. The structure of model elements in Matlab is presented. The architecture of the model, communication and detailed instructions for setting up a neuro-fuzzy I / O system are shown. As the initial data, we took information on the energy consumption of the metallurgical production for December 1 and 2, 2019. The forecast was received on December 3 of the year. The data obtained using the forecast are compared with actual consumption data for December 3, 2019. The accuracy of the forecasting model based on a neuro-fuzzy system is assessed. As an estimated parameter, we took the criterion of the average absolute percentage deviation. In addition, a graph of model learning error is provided. The rationale for the adequacy of the model is given. The fuzzy apparatus calculates fuzzy membership values by a combination of two Gaussian calculated functions. Testing of the model was carried out on the basis of the bootstrap assessment method. The obtained estimates, as well as a comparison with the neural network model, showed the efficiency of the neural-fuzzy model and its suitability for solving the problem.

Keywords: forecasting, modeling, fuzzy logic, neural networks, machine learning, expert system, short-term planning.

УДК 621.316.72

10.52167/1609-1817-2021-116-1-331-338

И.В. Брейдо¹, В.Г. Хомченко², Ю.Ф. Булатбаева¹, Г.Д. Оразгалеева¹

¹Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан

²Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ ВЫВОДА В МАТЛАВ

Аннотация. Данная статья посвящена разработке нейро-нечеткой модели для прогнозирования временных рядов в MatLab. Показана архитектура модели, связи и подробная инструкция по настройке нейро-нечеткой системы ввода-вывода. В качестве исходных данных взяты сведения об энергопотреблении металлургического производства за 1 и 2 декабря 2019 года с получением прогноза на 3 декабря года. За оценку точности прогнозирования взят параметр среднего абсолютного процентного отклонения. В дополнение приводится график ошибки обучения модели и обоснование адекватности модели. Полученные оценки, а также сравнение с нейросетевой моделью показали эффективность нейронечеткой модели и ее пригодность для решения поставленной задачи.

Ключевые слова: прогнозирование, моделирование, нечеткая логика, нейронные сети, машинное обучение, экспертная система, краткосрочное планирование.

Введение. Актуальность работы. В настоящее время решение практических задач на основе анализа и прогнозирования временных рядов находит широкое применение в различных сферах человеческой деятельности. Получение прогнозных значений по исходным данным временного ряда актуально для решения задач планирования в экономике, торговле,

управлении, оценке рисков информационной безопасности, а также при построении интеллектуальных систем поддержки принятия решений [1]. Для решения подобных задач широкое применение получили различные методы моделирования, в частности адаптивные методы искусственного интеллекта – нечеткие нейронные сети. Успешность их применения основана на сочетании достоинств нейронных сетей (возможность адаптивного самообучения) и нечетких систем (простота лингвистической интерпретации получаемого с их помощью результата). Поэтому, целью данного исследования является построение нейронечеткой модели, оценка ее адекватности и возможности эффективного практического использования для анализа и прогнозирования временных рядов [2].

Научная новизна работы.

Рассматривается возможность построения модели краткосрочного прогнозирования энергопотребления для металлургического комбината АО «АрселорМиттал Темиртау» на базе нейро-нечеткой

системы ввода-вывода для работы на балансирующем рынке электрической энергии Республики Казахстан.

При этом требуется максимальное выполнение следующих требований к модели:

- а) точность прогнозирования в пределах доверительного интервала 95%;
- б) гибкость модели для возможного изменения ее структуры при изменении схемы электроснабжения;
- в) универсальность (для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования).

Постановка задачи. В качестве исходных данных было взято почасовое потребление за 1 и 2 декабря 2019 года, представленное в таблице 1.

Для работы с исходными данными в Matlab представим в виде таблицы, в которой первый столбец – средняя нагрузка на текущий час, второй столбец – нагрузка за предыдущий час, Третий столбец – нагрузка за $(i-2)$ час, а третий столбец – $(i-3)$ столбец, где i – текущий час.

Таблица 1 – Фактические почасовые данные по потреблению металлургического предприятия за 1 и 2 декабря 2019 года

Table 1 - Actual hourly data on the consumption of a metallurgical enterprise for December 1 and 2, 2019

Почасовая нагрузка за 01.12.2019 г.				Почасовая нагрузка за 02.12.2019 г.			
Время	P, МВт	Время	P, МВт	Время	P, МВт	Время	P, МВт
00-01	35,78	12-13	34,27	00-01	32,61	12-13	35,23
01-02	32,72	13-14	37,06	01-02	32,96	13-14	32,62
02-03	32,99	14-15	33,68	02-03	36,02	14-15	33,46
03-04	36,11	15-16	32,99	03-04	33,42	15-16	35,87
04-05	33,23	16-17	34,62	04-05	32,91	16-17	32,80
05-06	33,06	17-18	33,38	05-06	34,94	17-18	33,12
06-07	35,70	18-19	32,77	06-07	33,84	18-19	35,94
07-08	33,54	19-20	34,98	07-08	32,50	19-20	33,25
08-09	30,02	20-21	34,99	08-09	34,50	20-21	32,91
09-10	28,53	21-22	32,64	09-10	34,78	21-22	34,99
10-11	32,53	22-23	33,01	10-11	32,93	22-23	31,12
11-12	33,54	23-24	35,78	11-12	34,24	23-24	28,50

Соответствующие обучающие данные могут быть сведены в отдельную таблицу. Объем полученной таким образом

обучающей выборки равен 48, что соответствует данным по потреблению за 1 и 2 декабря 2019 года. При этом данные за

3 декабря не вошли в состав обучающей выборки и могут быть использованы для проверки адекватности построенной нечеткой модели.

Для большего удобства подготовки соответствующего файла с обучающими

данными целесообразно воспользоваться редактором электронных таблиц MS Excel, обладающим возможностью копирования содержимого ряда ячеек. Данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Представление исходных данных для загрузки в Matlab с целью обучения прогнозирующей модели энергопотребления

Table 2 - Presentation of the source data for loading into Matlab for the purpose of training a predictive energy consumption model

Нагрузка на i день, МВт	Нагрузка на $i-1$ день, МВт	Нагрузка на $i-2$ день, МВт	Нагрузка на $i-3$ день, МВт	Нагрузка на $i+1$ день, МВт
36,11	32,99	32,72	35,78	33,23
33,23	36,11	32,99	32,72	33,06
33,06	33,23	36,11	32,99	35,70
35,70	33,06	33,23	36,11	33,54
33,54	35,70	33,06	33,23	30,02
30,02	33,54	35,70	33,06	28,53
28,53	30,02	33,54	35,70	32,53
32,53	28,53	30,02	33,54	33,54
33,54	32,53	28,53	30,02	34,27
34,27	33,54	32,53	28,53	37,06
37,06	34,27	33,54	32,53	33,68
33,68	37,06	34,27	33,54	32,99
32,99	33,68	37,06	34,27	34,62
34,62	32,99	33,68	37,06	33,38
33,38	34,62	32,99	33,68	32,77
32,77	33,38	34,62	32,99	34,98
34,98	32,77	33,38	34,62	34,99
34,99	34,98	32,77	33,38	32,64
32,64	34,99	34,98	32,77	33,01
33,01	32,64	34,99	34,98	35,78
35,78	33,01	32,64	34,99	32,61
32,61	35,78	33,01	32,64	32,96
32,96	32,61	35,78	33,01	36,02
36,02	32,96	32,61	35,78	33,42
33,42	36,02	32,96	32,61	32,91
32,91	33,42	36,02	32,96	34,94
34,94	32,91	33,42	36,02	33,84
33,84	34,94	32,91	33,42	32,50
32,50	33,84	34,94	32,91	34,50
34,50	32,50	33,84	34,94	34,78
34,78	34,50	32,50	33,84	32,93
32,93	34,78	34,50	32,50	34,24
34,24	32,93	34,78	34,50	35,23

35,23	34,24	32,93	34,78	32,62
32,62	35,23	34,24	32,93	33,46
33,46	32,62	35,23	34,24	35,87
35,87	33,46	32,62	35,23	32,80
32,80	35,87	33,46	32,62	33,12
33,12	32,80	35,87	33,46	35,94
35,94	33,12	32,80	35,87	33,25
33,25	35,94	33,12	32,80	32,91
32,91	33,25	35,94	33,12	34,99
34,99	32,91	33,25	35,94	31,12
31,12	34,99	32,91	33,25	28,50
28,50	31,12	34,99	32,91	29,34
29,34	28,50	31,12	34,99	34,05
34,05	29,34	28,50	31,12	34,21
34,21	34,05	29,34	28,50	33,92

Методы исследования. Нейро-нечеткая модель была создана в Matlab на базе ANFIS- редактора (adaptive neuro-fuzzy inference system или адаптивная нейро-нечеткая система вывода. После подготовки исходных данных необходимо

открыть редактор ANFIS командой anfisedit, в который последует загрузка подготовленных данных. Внешний вид редактора ANFIS с загруженными обучающими данными изображены на рисунке 1.

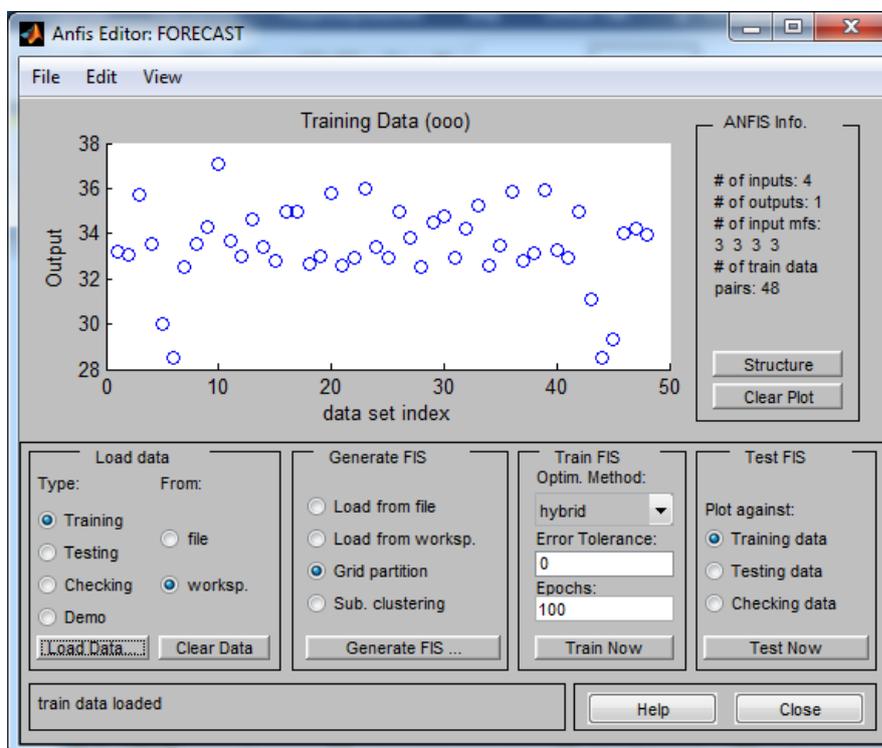


Рис.1 – Окно редактора ANFIS
Fig.1 – ANFIS Editor window

Первым шагом является ввод Excel-файла в рабочую область Matlab исходных данных. Путем перетаскивания инициализируется процедура

формирования исходных данных. В командной строке автоматически появляется действие «import('Исходные данные.xls',1)» и активизируется окно «Import – Место на диске/Исходные данные.xls». Данные из столбцов 1, 2, 3 и 4 таблицы 2 необходимо выделить, импортировать в рабочую область Matlab под названием «Input» (входные данные), выбрав формат импортируемых данных «Матрица». Затем импортировать таким же путем данные столбца 5 таблицы 2 под названием «Output» (выходные данные).

Редактор состоит из 5 рабочих областей. Первая область – Загрузка данных (Load data). Входные (Training) и выходные (Testing) данные загружаются из рабочей области (worksp.). Вторая область – Создание нейро-нечеткой системы

(Generate FIS). Третья область – Тренировка нейро-нечеткой системы (Train FIS). Четвертая область – Тестирование нейро-нечеткой модели (Test FIS). Пятая область – график ошибок обучения (Training Error) [3].

Перед генерацией структуры нечеткого вывода типа Сугено после вызова диалогового окна свойств следует задать для каждой из входных переменных по три лингвистических термина, а в качестве типа их функций принадлежности выбрать треугольные функции (установленные системой Matlab по умолчанию). В качестве типа функции принадлежности выходной переменной необходимо задать линейную функцию [4]. Архитектура полученной модели изображена на рисунке 2.

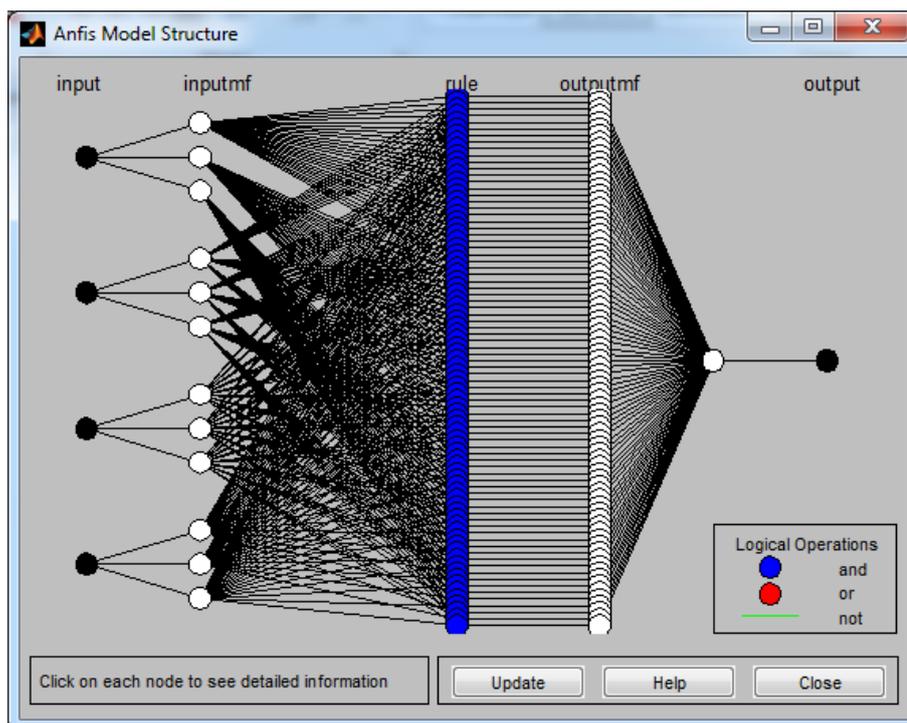


Рис.2 – Архитектура нейро-нечеткой системы
Fig.2 – Neuro-fuzzy system architecture

Для обучения гибридной сети следует воспользоваться гибридным методом обучения с уровнем ошибки 0, а количество эпох обучения равным 100. После окончания обучения данной гибридной сети может быть выполнен анализ графика ошибки обучения, который

показывает, что обучение практически закончилось после третьего цикла. Выполним проверку адекватности построенной нечеткой модели гибридной системы.

Для этой цели необходимо создать ретроспективный прогноз значения

энергопотребления на следующий час после 2 декабря 2019 года.

Поскольку точность количественных значений, обеспечиваемая графическими средствами пакета Fuzzy Logic Toolbox, является недостаточной для решения данной задачи, воспользуемся функцией командной строки `evalfis`. В качестве аргументов этой функции необходимо указать вектор значений энергопотребления на текущий и три предшествующих дня. Полный формат вызова этой функции равен `out=evalfis([33.9200 34.2080 34.0480 29.3440],FORECAST)`.

Результаты исследования. После обучения гибридной сети можно визуально оценить структуру построенной нечеткой

модели. Очевидно, графическая наглядность данной модели затруднена загруженностью связей, поскольку общее количество правил в разработанной адаптивной системе нейро-нечеткого вывода равно 81, что затрудняет их визуальный контроль и оценку. С помощью разработанной нечеткой модели получено значение выходной переменной для первого часа 3 декабря 2019 года, равное 34,4627 МВт. Таким образом, ошибка обучения MAPE для фактического значения энергопотребления 36,18 МВт составляет 4,75%, что входит в доверительный интервал. На рисунке 3 показан график распространения ошибки обучения за 100 эпох.

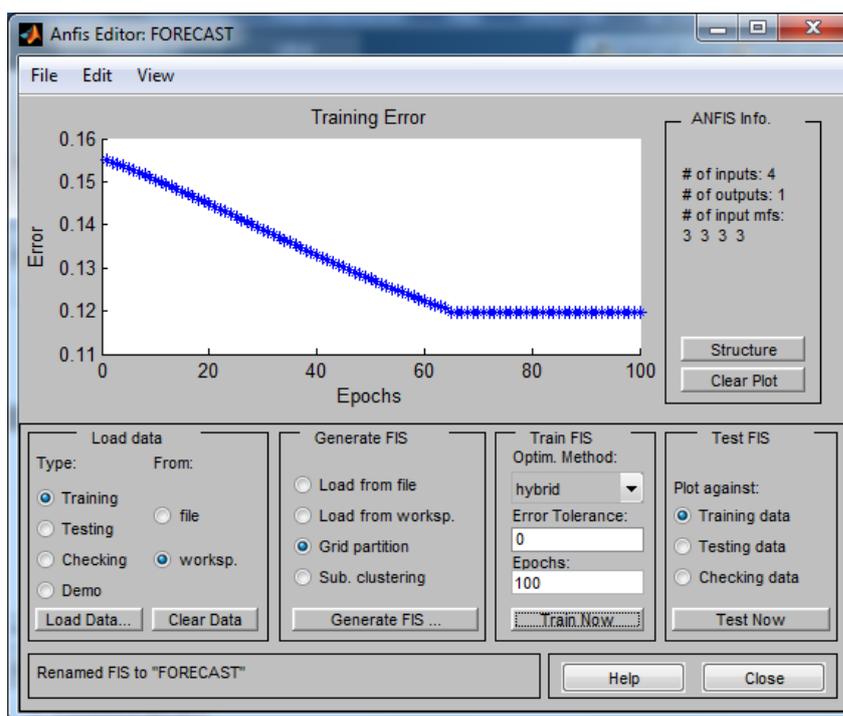


Рис.3 – График распространения ошибки обучения
Fig.3 – Training Error Distribution Schedule

Обсуждение результатов исследования. Полученные оценки, а также сравнение с нейросетевой моделью показали эффективность нейро-нечеткой модели и ее пригодность для решения поставленной задачи.

С помощью графических средств системы Matlab можно выполнить контроль и настройку параметров функций

принадлежности входных переменных и правил нечетких продукций. Для выполнения соответствующих операций можно воспользоваться редактором функций принадлежности. Однако до проверки адекватности построенной нечеткой модели следует оставить все параметры функций принадлежности без изменений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – с.356-360.
- [2] Катасёва Д.В., Катасёв А.С., Кирпичников А.П., Абьянов Б.Э. Нейро-нечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов. Вестник технологического университета, Том 19, №13, 2016, с.127-131.
- [3] Тимшина Д.В., Работа Ю.Ю. Нечеткая логика и анализ эффективности инвестиционных проектов в среде MatLab, Fuzzy Logic Toolbox. Вестник Академии знаний, №1 (8), 2014, с.50-60.
- [4] Кацко И.А., Паклин Н.Б. Практикум по анализу данных на компьютере. – М.: Изд-во КолосС, 2009. – с.278-280.

REFERENCES

- [1] Leonenkov A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH*. [In Russian: Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2005, pp.356-360.
- [2] Katasjova D.V., Katasjov A.S., Kirpichnikov A.P., Abjanov B. Je. *Nejro-nechetkaja model' analiza i prognozirovaniya vremennyh rjadov*. [In Russian: Neuro-fuzzy time series analysis and forecasting model]. University of Technology Herald, Vol. 19, No. 13, 2016, pp.127-131.
- [3] Timshina D.V., Rabota Ju.Ju. *Nechetkaja logika i analiz jeffektivnosti investicionnyh proektov v srede MatLab, Fuzzy Logic Toolbox*. [In Russian: Fuzzy logic and analysis of the effectiveness of investment projects in the environment of MatLab, Fuzzy Logic Toolbox]. Bulletin of the Knowledge Academy, No. 1 (8), 2014, pp.50-60.
- [4] Kacko I.A., Paklin N.B. *Praktikum po analizu dannyh na komp'jutere*. [In Russian: Workshop on data analysis on a computer]. Moscow, KolosS Publ., 2009, pp.278-280.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ ВЫВОДА В МАТЛАВ

Брейдо Иосиф Вульфович, д.т.н., профессор, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; jbreido@mail.ru

Хомченко Василий Герасимович, д.т.н., профессор, Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия; v_khomchenko@mail.ru

Булатбаева Юлия Феликсовна, PhD, доцент, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; julia_my_angel@mail.ru

Оразгалеева Гульнара Даметжановна, магистр, докторант, Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан; gulnara388@gmail.com

МАТЛАВ БАҒДАРЛАМАСЫНДА НЕЙРО-АНЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕСІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТҰТЫНУШЫЛЫҚТЫҢ ҮЛГІЛІК МОДЕЛІН ҚҰРУЫ

Брейдо Иосиф Вульфович, т.ғ.к., профессор, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан; jbreido@mail.ru

Хомченко Василий Герасимович, т.ғ.к., профессор, Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей; v_khomchenko@mail.ru

Булатбаева Юлия Феликсовна, PhD, доцент, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан; julia_my_angel@mail.ru

Оразгалеева Гульнара Даметжановна, магистр, докторант, Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан; gulnara388@gmail.com

Аңдатпа. Бұл мақала MatLab-тағы уақыттық қатарларды болжауға арналған нейро-бұлдыр модельді жасауға арналған. Үлгісінің архитектурасы, байланысы және нейро-күңгірт енгізу / шығару жүйесін орнатуға арналған егжей-тегжейлі нұсқаулар көрсетілген. Бастапқы деректер ретінде біз металлургия өнеркәсібінің энергияны тұтынуы туралы ақпаратты 2019 жылдың 1 және 2 желтоқсанына жылдың 3 желтоқсанына болжаммен алдық. Орташа абсолютті пайыздық ауытқу параметрі болжамның дәлдігін бағалау ретінде алынады. Сонымен қатар, үлгіні оқу қателігінің графигі және модельдің сәйкестігінің негіздемесі келтірілген. Алынған бағалау, сондай-ақ нейрондық желінің моделімен салыстыру нейрон-бұлыңғыр модельдің тиімділігі мен мәселені шешуге жарамдылығын көрсетті.

Түйінді сөздер: болжау, модельдеу, анық емес логика, нейрондық желілер, машиналық оқыту, сараптама жүйесі, қысқа мерзімді жоспарлау.