

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/JBVN5702>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/NXFF1499>

С. С. Битиманова

Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Нур-Султан

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

На фоне экономического и экологического оптимального управления электроэнергетическими системами важную роль играют точные прогнозы потребления.

Для того чтобы сделать максимально точные прогнозы, необходимо разработать и исследовать модели, учитывающие возрастающую количественную структуру и, благодаря значительно большему количеству наблюдений, максимально повысить качество прогнозирования. Искусственные нейронные сети (ИНС) все чаще используются для решения нелинейных задач для растущего объема данных, на которые влияют человеческие и другие факторы.

В настоящей работе рассматриваются различные сетевые структуры и гиперпараметры для поиска оптимальной конфигурации сети для прогнозирования показателей электрической нагрузки. Искусственные нейронные сети моделируются в Matlab.

Исследование должно показать, имеют ли и какие преимущества (глубокие) нейронные сети в прогнозировании показателей электрической нагрузки.

Во время исследования обращено внимание на влияние количество узлов сети и данных, на обучение искусственных нейронных сетей, а также на выбор исторических ценностей/глубина исторических ценностей.

Целью работы является имитационное исследование и оценка качества и оптимальности прогнозной модели на основе искусственных нейронных сетей для показателей электрической нагрузки.

Ключевые слова: Искусственная Нейронная Сеть, прогнозирование, электроэнергетика, моделирование, оценка.

Введение

В современном мире прогнозирование играет большую роль, в том числе и в Казахстане [1], в связи с этим, большое внимание привлекают различные методы прогнозирования и в том числе искусственные нейронные сети.

Преимущество ИНС заключается в их способности учиться. Они способны адаптироваться к изменяющимся условиям и учиться дальше на основе дополнительных данных [2-4].

ИНС для модели прогнозирования строится как сеть прямой связи из-за абстракция [5] и проиллюстрирована на рисунке 1.

Структура нейронной сети обучается с использованием алгоритма обратного распространения [6]. Прогнозирование показателей электрической нагрузки осуществляется обученной ИНС путем применения исторических значений во входном слое. После этого обученная сеть используется для отображения прогнозного значения в выходном слое. Этот модельный подход служит отправной точкой для следующих исследований.

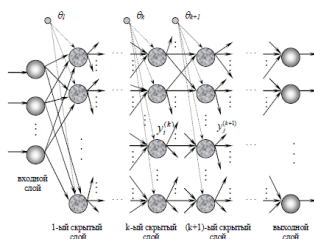


Рисунок 1 – Примерная ИНС, настроенная в качестве прямой сети для прогнозирования профилей электрической нагрузки

Материалы и методы

Исследования направлены на изучение влияния количества данных, связанных с изменением структуры сети и числа узлов, на стабильность прогноза. В результате можно сделать заявления о качестве и оптимальности модельного подхода.

Основные технические характеристики модели

В качестве входной переменной $x(t)$ по кривой электрической годовой нагрузки применяется скользящее временное окно с N историческими значениями. Рисунок 2 иллюстрирует электрическую нагрузку бытового потребителя в качестве входных данных для модели прогнозирования.

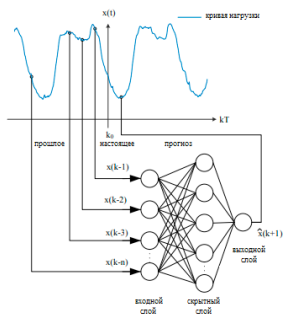


Рисунок 2 – Пример модели прогнозирования показателей электрической нагрузки по n историческим данным

Согласно рисунку 2, структура выбранной модели ИНС имеет входные узлы, скрытый слой, узлы в скрытом слое, выходной узел, сигмоидную функцию активации и сетчатую сеть. Далее проводятся оценка параметров и имитационное исследование. Для получения точных выводов о режиме работы и изменении качества прогноза структура сети модифицируется на дальнейших этапах исследования.

Сценарии исследования

Данные по энергопотреблению доступны в виде годовых показателей нагрузки. Кривая нагрузки показывает временной ход потребляемой электрической энергии. Разрешение по времени составляет 15 минут. Соответственно, 4 измеренных значения доступны в час и 96 измеренных значений в один день. Следовательно, кривая годовой нагрузки отображается с 35040 точками данных.

На этапе обучения нейронная сеть учится выводить выходные переменные из заданных входных. Прогнозная модель обучается на горизонте прогнозирования $x(k+96)$. Во время обучения соединения узлов взвешиваются и определяются. Структура сети модифицируется на основе базовой модели. Для анализа поведения модели увеличены количества данных с дальнейшими временными рядами, увеличены количества узлов сети в скрытом слое, а также увеличены показатели выходного задания.

Для каждого изменения структуры нейронной сети создается сценарий (табл. 1). Индивидуальные изменения также сочетаются друг с другом.

Таблица 1 – Сценарии исследования с соответствующей конфигурацией сети

| | | | | | | | | | |
|--|----------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Вариант 1: одновременные соединения временных рядов | Сценарий | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| | Временные ряды | 1 | 1 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | |
| | Данные | Входные | 7 | 7 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | | Скрытый слой | 15 | 60 | 15 | 15 | 60 | 60 | 60 |
| Выходные | 1 | 1 | 1 | 6 | 1 | 6 | 6 | | |

а)

| | | | | |
|--|----------------|--------------|----|----|
| Вариант 2: продолжение связей временных рядов | Сценарий | 8 | 9 | |
| | Временные ряды | 6 | 6 | |
| | Данные | Входные | 7 | 7 |
| | | Скрытый слой | 15 | 60 |
| Выходные | | 1 | 1 | |

б)

Результат моделирования и оценка

После обучения ИНС моделирование основано на тестовых данных, которые не были использованы для обучения. Затем прогноз, сгенерированный моделью, сравнивается с записанными измеренными значениями. Для валидации и оценки результатов используются погрешности между прогнозом и наблюдениями. Далее можно рассчитать среднюю ошибку прогноза (MAE) [7-8].

Преимущество перед средней ошибкой заключается в исследовании абсолютных отклонений между прогнозом и наблюдением [9-10]. Качество прогноза оценивается по показателям погрешности и дает возможность сделать вывод о том, насколько хорошо прогнозируемое значение соответствует реальному значению. Далее, вычисляется r , что приводит к линейной зависимости между прогнозом и наблюдением.

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x}_k)(\hat{x}_k - \bar{\hat{x}}_k)}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x}_k)^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\hat{x}_k - \bar{\hat{x}}_k)^2}} \quad (1)$$

В табл. 2 сравниваются результаты для 8 рассмотренных сценариев (см. табл. 2) прогноза значения с горизонтом прогноза $x(k+96)$.

Таблица 2 – Результаты по сценариям для горизонта прогнозирования $x(k+96)$

| | | | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Сценарий | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| MAE | 0,0744 | 0,0766 | 0,0625 | 0,0598 | 0,0630 | 0,0560 | 0,0720 | 0,0720 | 0,0750 |
| Качество | 0,8601 | 0,8560 | 0,8765 | 0,8912 | 0,8756 | 0,8923 | 0,8681 | 0,8781 | 0,9081 |
| r | 0,8933 | 0,8923 | 0,9280 | 0,9605 | 0,9321 | 0,9511 | 0,8923 | 0,8925 | 0,8955 |

Из-за увеличения входной занятости путем добавления дополнительных временных рядов из соответствующего класса временных рядов, качество прогноза может быть улучшено. Кроме того, увеличение выходной занятости при одновременном увеличении числа узлов сети приводит к дальнейшему повышению качества прогноза. Эта связь также выражается в уменьшении средней абсолютной ошибки и увеличении коэффициента корреляции.

Временные ряды прогнозов для сценариев 1 и 6 сравниваются с реальными данными на рисунке 3. Улучшение качества прогнозирования является результатом структурных изменений в нейронной сети. Основываясь на большем объеме данных и, как следствие, более сложной структуре сети, ИНС может лучше выводить требуемые выходные переменные из заданных входных переменных во время обучения.

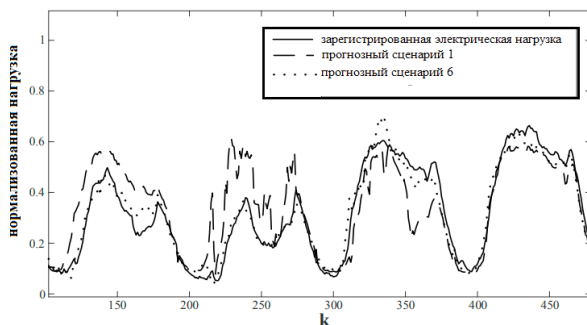


Рисунок 3 – Показатель прогнозной нагрузки для сценария 1 и сценария 6 для горизонта прогнозирования $x(k+96)$

Выводы

Прогностическое качество профилей электрической нагрузки изучалось с помощью ИНС. В качестве примера, модель была разработана для горизонта прогнозирования $x(k+96)$. После того, как различные сценарии были изучены и протестированы, можно наблюдать улучшение качества с увеличением объема данных, сопровождающееся меньшей ошибкой. Увеличение числа узлов сети в скрытом слое, а также заполняемость выхода оказывают поддерживающий эффект. Вариация и увеличение параметров ограничены в зависимости от сложности и вычислительной мощности ИНС. Другим аспектом исследования является рассмотрение полного периода в течение следующих 24 часа в модели, основанной на репрезентативном рассмотрении значения времени после 24 ч. Кроме того, полученные результаты можно использовать для дальнейших исследований для более углубленного изучения процесса.

Список использованных источников

1 Национальная Энергосистема. [Электронный ресурс]. – <https://www.kegoc.kz/ru/o-kompanii/nacionalnaya-energositema>.

2 **Торопов А. С., Туликов А. Н.** Прогнозирование почасового электропотребления региональной энергосистемы с использованием искусственных нейронных сетей // Вестник ИргТУ, 2017.

3 **Кретов Д. А., Рузанов Р. В.** Прогнозирование электропотребления энергосбытовой компании с использованием искусственной нейронной сети // ИВД, 2015.

4 **Пройдаков Э.М.** Современное состояние искусственного интеллекта // Научно-исследовательские исследования, 2018.

5 **Brockwell, P. J., Davis, R. A.** Introduction to Time Series and Forecasting, 2016. – 425 p.

6 **Schmidhuber, J.** Deep Learning in neural networks: An overview Neural Networks, 61, 2015. – P. 85-117.

7 **A. de Myttenaere, B. Golden, B. Le Grand, and F. Rossi**, «Mean Absolute Percentage Error for regression models». Neurocomputing, Vol. 192, 2016. – P. 38–48.

8 **Ummul Khair, Hasanul Fahmi, Sarudin Al Hakim, Robbi Rahim**, Forecasting Error Calculation with Mean Absolute Deviation and Mean Absolute Percentage Error. International Conference on Information and Communication Technology (IconICT), 2017.

9 **Ren Y et al.** Random vector functional link network for short-term electricity load demand forecasting. Inf Sci Int J/ 2016. – P. 367–368.

10 **Zhang, H., Yang, Y., Zhang, Y. et al.** A combined model based on SSA, neural networks, and LSSVM for short-term electric load and price forecasting. Neural Comput & Applic 33, 2021. – P. 773–788.

References

1 Nasionalnaya Energositema. [Elektronnyi resurs]. [National Power Grid]. Rejim dostupa: <https://www.kegoc.kz/ru/o-kompanii/nacionalnaya-energositema>.

2 **Торопов А. С., Туликов А. Н.** Prognozirovanie pochasovogo elektropotrebleniya regionalnoi energositemy s ispolzovaniem iskusstvennykh neironnykh setei [Forecasting of hourly power consumption of the regional power system using artificial neural networks] Vestnik IrGTU, 2017.

3 **Kretov D. A., Rozanov R. V.** Prognozirovanie elektropotrebleniya energosbytovoi kompanii s ispolzovaniem iskusstvennoi neironnoi seti [Forecasting of power consumption of an energy sales company using an artificial neural network]. IVD, 2015.

4 **Prokhodakov E.M.** Sovremennoe sostoyaniye iskusstvennogo intellekta // Naukovedcheskie issledovanie [Modern state of artificial intelligence], 2018.

5 **Brockwell, P. J., Davis, R. A.** Introduction to Time Series and Forecasting, 2016. – 425 p.

6 **Schmidhuber, J.** Deep Learning in neural networks: An overview Neural Networks, 61, 2015. – P. 85-117.

7 **A. de Myttenaere, B. Golden, B. Le Grand, and F. Rossi**, «Mean Absolute Percentage Error for regression models». Neurocomputing, Vol. 192, 2016. – P. 38–48.

8 **Ummul Khair, Hasanul Fahmi, Sarudin Al Hakim, Robbi Rahim**, Forecasting Error Calculation with Mean Absolute Deviation and Mean Absolute Percentage Error. International Conference on Information and Communication Technology (IconICT), 2017.

9 **Ren Y et al.** Random vector functional link network for short-term electricity load demand forecasting. Inf Sci Int J/ 2016. – P. 367–368.

10 **Zhang, H., Yang, Y., Zhang, Y. et al.** A combined model based on SSA, neural networks, and LSSVM for short-term electric load and price forecasting. Neural Comput & Applic 33, 2021. – P. 773–788.

Материал поступил в редакцию 12.06.21.

С. С. Битманова

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.
Материал 12.06.21 баспаға түсті.

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН БОЛЖАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Экономикалық және экологиялық оңтайлы басқару аясында, электр энергетикасы жүйелерін тұтынудың нақты болжамдары маңызды рөл атқарады.

Дәл болжау жасау үшін, сандық құрылымды ескеретін және бақылаудың едәуір көбірек болуының арқасында болжау сапасын барынша арттыратын модельдерді әзірлеу және зерттеу қажет. Жасанды нейрондық желілер (ЖНЖ), адам және басқа факторлар әсер ететін деректердің өсіп келе жатқан көлеміне арналған сызықтық емес мәселелерді шешу үшін жиі қолданылады.

Бұл мақалада, электрлік жүктеме индикаторларының көрсеткіштерін болжауға арналған оңтайлы желілік конфигурацияны табуға үшін, әр түрлі желілік құрылымдар мен гиперпараметрлер қарастырылған. ЖНЖ Matlab-та модельденеді.

Зерттеу электр жүктемесінің көрсеткіштерін болжауда (терең) нейрондық желілердің артықшылықтары бар-жоғын және қандай екенін көрсетуі керек. Зерттеу барысында желідегі түйіндер саны мен мәліметтердің, ЖНЖ-ны даярлауға, сондай-ақ тарихи құндылықтарды / тарихи құндылықтардың тереңдігін таңдауға әсеріне назар аударылды. Жұмыстың мақсаты - имитациялық зерттеу және электр жүктемесі индикаторлары үшін жасанды нейрондық желілерге негізделген болжамды модельдің сапасы мен оңтайлылығын бағалау.

Кілтті сөздер: Жасанды нейрондық желі, болжау, Электр энергетикасы, модельдеу, бағалау.

S. S. Bitimanova

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan.

Material received on 12.06.21.

OPTIMIZATION OF ELECTRICITY FORECASTING

Against the background of economic and environmental optimal management of electric power systems, accurate consumption forecasts play an important role.

In order to make the most accurate forecasts, it is necessary to develop and research models that take into account the increasing quantitative structure and, thanks to a significantly larger number of observations, maximize the quality of forecasting. Artificial neural networks (ANNs) are increasingly being used to solve nonlinear problems for a growing volume of data that is influenced by human and other factors.

In this paper, we consider various network structures and hyperparameters for finding the optimal network configuration for predicting electrical load indicators. The ANNs is modeled in Matlab.

The study should show whether and what advantages (deep) neural networks have in predicting electrical load indicators. During the study, attention was paid to the influence of the number of network nodes and data, on the training of INS, as well as on the choice of historical values/ the depth of historical values.

The aim of the work is a simulation study and evaluation of the quality and optimality of the predictive model based on artificial neural networks for electrical load indicators.

Keywords: Artificial Neural Network, forecasting, electric power industry, modeling, estimation.

Теруге 12.06.2021 ж. жіберілді. Басуға 24.06.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

6,28 Мб RAM

Шартты баспа табағы 15,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3792

Сдано в набор 12.06.2021 г. Подписано в печать 24.06.2021 г.

Электронное издание

6,28 Мб RAM

Усл. печ. л. 15,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Р. Омарова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3792

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz