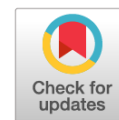


УДК 004.032.26(06)

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-107124>

Оригинальное исследование



Прогнозирование величины электрической нагрузки в электротехнических комплексах летательных аппаратов

А.Е. Чернов¹, Р.А. Малеев², Д.А. Ерошкин¹, Е.Н. Федоренко²¹ Военная академия ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого, Москва, Россия² Московский политехнический университет, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Более значимым становится вопрос прогнозирования, анализа и управления электрической нагрузкой как в рамках электротехнического комплекса летательного аппарата в целом, так и для определенных групп потребителей электрической энергии. Прогнозирование электрической нагрузки необходимо для решения проблемы оптимизации эксплуатационного состояния электротехнического комплекса или системы, при постоянно изменяющихся условиях и изменяющейся обстановке, что влечет изменение мощности. В последнее время часто применяется относительно новый метод, в основе которого лежит нечеткая логика. Этот метод является симбиозом нечеткой логики и нейронных сетей, который включает в себя основные свойства характерные для этих направлений. Благодаря применению отлаженной нечетко-нейронной технологии, реализованной в корректно спроектированной и обученной нечеткой нейронной сети для предсказания электрических нагрузок стало возможным обеспечить достаточно высокую точность и скорость прогнозирования нагрузок.

Цель работы – анализ методик прогнозирования электрической нагрузки электротехнического комплекса летательного аппарата, а также определение наиболее оптимальной методики для прогнозирования электрической нагрузки автономного летательного аппарата, применяемого в вооруженных силах.

Материалы и методы. Моделирование условий работы выполнено в программе *Matlab* и его приложениях – *Simulink*. При этом при помощи фундаментальных блоков данного приложения созданы модели физических компонентов электротехнического комплекса летательного аппарата.

Результаты. Для предметной оценки прогнозирования величины электрической нагрузки электротехнического комплекса летательного аппарата разработан алгоритм, реализованный на ЭВМ. Он предусматривает выполнение ретроспективных расчетов с учетом величины вырабатываемой мощности, длительности работы и перетоков электроэнергии в электротехническом комплексе в целом.

Заключение. Из-за использования отлаженной нечетко-нейронной технологии для предсказания электрических нагрузок, реализованной в корректно спроектированной и обученной нечеткой нейронной сети, стало возможным обеспечить необходимую точность и быстроту прогнозирования электрических нагрузок.

Ключевые слова: прогнозирование; электрическая нагрузка; переток мощности; точность прогнозирования; метод авторегрессии.

Для цитирования:

Чернов А.Е., Малеев Р.А., Ерошкин Д.А., Федоренко Е.Н. Прогнозирование величины электрической нагрузки в электротехнических комплексах летательных аппаратов // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Т. 16, № 1. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-107124>

Рукопись получена: 05.04.2022

Рукопись одобрена: 10.04.2022

Опубликована: 15.04.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-107124>

Original study article

Forecasting the magnitude of the electrical load in electrical complexes of aircraft

Alexander Y. Chernov¹, Ruslan A. Maleev², Dmitry A. Eroshkin¹, Elena N. Fedorenko²

¹ Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Moscow, Russia

² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The issue of forecasting, analysis and control of electrical load becomes more significant both within the framework of the electrical complex of the summer apparatus as a whole, and for certain groups of electric energy consumers. Forecasting the electrical load is necessary to solve the problem of optimizing the operational state of an electrical complex or system, under constantly changing conditions and changing environment, which entails a change in power. Recently, a relatively new method has often been used, which is based on fuzzy logic. This method is a symbiosis of fuzzy logic and neural networks, which includes the main properties characteristic of these areas. Thanks to the use of a well-established fuzzy neural technology implemented in a correctly designed and trained fuzzy neural network for predicting electrical loads, it became possible to ensure sufficiently high accuracy and speed of load prediction.

AIMS: The purpose of the work is to analyze methods for predicting the electrical load of the aircraft's electrical and technical complex, as well as to determine the most optimal methodology for predicting the electrical load of an autonomous aircraft used in the armed forces.

METHODS: Modeling of working conditions is performed in the Matlab program and its applications – Simulink. At the same time, with the help of the fundamental blocks of this application, models of the physical components of the electrical complex of the aircraft are created.

RESULTS: For a substantive assessment of the prediction of the magnitude of the electrical load of the electrical complex of the aircraft, an algorithm implemented on a computer has been developed. It provides for the implementation of retrospective calculations taking into account the amount of power generated, the duration of operation and the flow of electricity in the electrical complex as a whole.

CONCLUSIONS: Due to the use of a well-established fuzzy neural technology for predicting electrical loads, implemented in a correctly designed and equipped fuzzy neural network, it became possible to provide the necessary accuracy and speed of predicting electrical loads.

Keywords: forecasting; electrical load; power flow; prediction accuracy; autoregression method.

Cite as:

Chernov AY, Maleev RA, Eroshkin DA, Fedorenko EN. Forecasting the magnitude of the electrical load in electrical complexes of aircraft. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2022;16(1):99–106. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-107124>

Received: 05.04.2022

Accepted: 10.04.2022

Published: 15.04.2022

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях для электроснабжения бортового оборудования летательного аппарата главной задачей становится создание новых подходов в формировании структуры и методики проектирования. В электротехническом комплексе симбиоз источников и приемников электрической энергии должен обеспечивать баланс потребляемой электроэнергии, который способствовал бы максимально эффективному выполнению задач электротехнического комплекса и системы в целом. Поэтому самой важной в этом вопросе становится проблема прогнозирования, анализа и управления электрической нагрузкой как в рамках электротехнического комплекса в целом, так и для отдельно взятых элементов электрической энергии. Прогноз нагрузки также необходим для оптимизации эксплуатационного состояния мощной системы при постоянно изменяющихся условиях и планирования перетоков мощности [1].

Цель исследований – анализ методик прогнозирования электрической нагрузки электротехнического комплекса летательного аппарата, а также определение наиболее оптимальной методики для прогнозирования электрической нагрузки автономного летательного аппарата, применяемого в вооруженных силах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Прогнозирование энергопотребления необходимо, так как изменения во времени электрической нагрузки представляют собой неопределенные по времени процессы, то есть изменение величины нагрузки случайным образом зависит от времени работы потребителей, длительности полета, траектории. Кроме этого, электрическая нагрузка в электротехнических комплексах летательных аппаратов подвержена влиянию такого внешнего фактора, как погода, которая может существенно влиять на работу бортового оборудования.

Поэтому можно сделать вывод, что электрическая нагрузка по величине непостоянна. Зависимость нагрузки от времени отражается графиком нагрузки. Среди погодных факторов, воздействующих на нагрузку, приоритетным является возмущающий фактор, связанный с движением воздушных масс [2].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящий момент имеется множество различных методик для прогнозирования электрической нагрузки. Рассмотрим наиболее распространенные методы.

Метод авторегрессии. Позволяет определить зависимость от самого себя, вернее от того, каков был параметр в прошлом периоде (день, месяц, год и т. п.). Именно к этому сводится суть авторегрессионной модели, то есть вполне справедливо можно определить

практически для любого показателя, что его текущее состояние в какой-то мере зависит от того, какой он был до этого. Например, тот же уровень зависит от того, каков был его показатель в прошлом году. Именно определение такой зависимости позволяет строить довольно точные модели, по которым очень возможно делать прогноз. Для этого метода применяется следующее выражение:

$$\bar{L}(t, d) = \sum_{k=1}^4 \alpha_k \bar{L}_k(t, d), \quad (1)$$

где α_k – линейные веса, обеспечивающие оптимальную комбинацию четырех отдельных прогнозов; $\bar{L}_1(t, d)$ – прогноз $L(t, d)$ на основе авторегрессионной модели первого порядка с задержкой один час; $\bar{L}_2(t, d), \bar{L}_3(t, d), \bar{L}_4(t, d)$ – прогноз $L(t, d)$ на основе авторегрессионной модели первого порядка с задержкой одни сутки, неделя и год соответственно.

Метод обобщенного экспоненциального сглаживания – способ усреднения временных рядов, определение которого включает исследование всех предыдущих наблюдений, при этом принимается во внимание изменение информации по мере ухода от прогнозного периода. Проще говоря, чем «старше» наблюдение, тем меньше оно откладывает отпечаток на параметры прогнозной оценки. Обобщенный метод экспоненциального сглаживания наиболее часто применяется для прогнозирования суммарных часовых нагрузок:

$$L(t) = a^T \cdot f(t) + \varepsilon(t), \quad (2)$$

где a^T – транспонированный вектор сглаженных весов; $f(t)$ – вектор сглаживающих функций [3].

Метод факторного анализа – метод исследования, позволяющий определить влияние той или иной переменной на конечный результат. Для его применения нужно составить информацию отражающую каждый параметр. В ходе исследования можно понять внутреннюю взаимосвязь между параметрами, влияющими на результат деятельности.

Данный метод позволяет составить определенные значения прогнозируемых параметров электротехнического комплекса в следующем виде:

$$Y_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + d_iU_i, \quad (3)$$

где Y_i – i -й прогнозируемый параметр; F_j – общие факторы, учитывающие взаимосвязи между исходными параметрами Y_i ; a_{ij}, d_i – нагрузки соответствующих факторов на параметры Y_i ; U_i – фактор, учитывающий остаточную дисперсию.

Для прогнозирования параметров воздействия могут быть использованы либо примеры временных рядов, либо регрессионные модели, отражающие связь

возмущающих параметров с внешними возмущающими параметрами электротехнического комплекса [3]. Кроме приведенных выше методов, имеется большое количество других подходов к прогнозированию величины электрической нагрузки.

Однако, несмотря на большое количество существующих методов прогнозирования величины электрической нагрузки, точное моделирование является затруднительным из-за нелинейных зависимостей между нагрузкой и факторами, от которых она зависит. Кроме того, некоторые математические модели электрической нагрузки представляют некоторое изменение электрической нагрузки благодаря использованию понятия временного ряда. Эти модели не принимают во внимание информацию, связанную с погодой, и пробуют предсказать будущую нагрузку, используя предыдущие значения [4]. Пример графика электрической нагрузки приведен на рис. 1.

На рис. 1 изображены P_{\max} – величина максимальной нагрузки, P_{cp} – величина средней нагрузки или номинальной, P_{\min} – величина минимальной нагрузки. Существуют такие понятия, как пиковая нагрузка, определяемая величиной максимальной нагрузки, полупиковая, соответствующая среднему значению нагрузки, и базовая часть, характеризуемая минимальной нагрузкой системы. Приближений и переходов через показанные на графике линии может быть большое количество, это зависит от сложности системы, продолжительности функционирования и внешних факторов, влияющих на работу электротехнического комплекса.

Кроме описанных выше методов прогнозирования величины электрической нагрузки, в настоящее время используется относительно новый метод, основанный на нечеткой логике и нейронных сетях. Другими словами, этот метод является гибридом нечеткой логики и нейронных сетей, который включил в себя основные свойства, характерные для этих направлений.

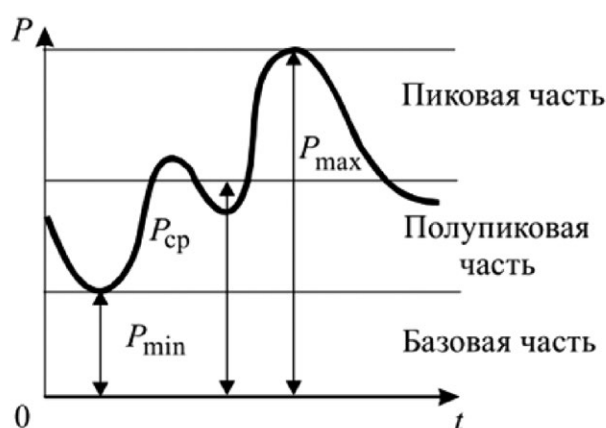


Рис. 1. Пример графика электрической нагрузки.
Fig. 1. Example of an electrical load graph.

Нейронные сети – это устройства параллельной обработки информации всеми звеньями. Они обладают способностью к обучению и обобщению накопленных параметров. Обученная на ограниченном множестве данных сеть может обобщать полученную информацию и получать достаточно точные результаты на данных, не использовавшихся в процессе обучения. Несмотря на то, что они являются очень удачными для задач распознавания, классификации образов, прогнозирования и идентификации, лицо, принимающее решение (ЛПР), не может получить ответ на вопрос, как реализуются эти процессы. Для оператора обученная сеть похожа на «черный ящик». Многие из задач могут быть разрешены с помощью систем с нечеткой логикой, которые используют основные понятия теории нечетких множеств.

Нечеткое множество – это такое множество, которое содержит совокупность элементов произвольной природы. Причем относительно этих параметров нельзя с точностью сказать – принадлежит или не принадлежит определенный элемент рассматриваемой последовательности данному множеству.

Нечеткая логика выходит из теории нечетких множеств и представляет разновидность непрерывной логики, в которой логические выражения принимают реальные значения, определяемые в диапазоне между 0 и 1. Необходимо отметить, что результат, полученный в системах с нечеткой логикой, также представляется приблизительно, нечетко. Для того чтобы получить какое-либо конкретное значение, которое может быть использовано в электротехнических комплексах, применяются системы нечеткого вывода. Процесс нечеткого вывода представляет собой определенную процедуру или алгоритм определения нечетких заключений на основе нечетких правил или условий. Системы нечеткого вывода позволяют решать задачи принятия решений, определения образов, классификации данных и многие другие [5].

Комплексы с нечеткой логикой становятся удобными и полезными для визуализации получаемых с их помощью результатов, они обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию вредных факторов, хотя такие системы и не могут автоматически обучаться и насыщаться новыми знаниями. В итоге искусственные нейронные сети и системы с нечеткой логикой соотносятся друг с другом, но, тем не менее, у них имеются собственные достоинства и недостатки.

Основой нечетких нейронных сетей является то, что используется существующая выборка данных для определения параметров функций принадлежности, которые лучше всего соответствуют некоторой системе логического вывода, то есть выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а для нахождения параметров функций принадлежности применяются

алгоритмы обучения нейронных сетей. Такие системы используют заранее определенную информацию, обучаются, приобретают новые знания, прогнозируют временные ряды, выполняют классификацию образов, и, кроме этого, они являются вполне наглядными для оператора.

При этом, проходя классификации образов, предсказание величины электрической нагрузки опирается на учет свойств прогнозируемой работы электротехнического комплекса. Главная особенность величины нагрузок электротехнического комплекса – это определенная повторяемость характеризующих их выборов в зависимости от периодов работы.

Постановка и реализация задачи

Для предметной оценки прогнозирования величины электрической нагрузки электротехнического комплекса летательного аппарата разработан алгоритм, реализованный на ЭВМ. Он предусматривает выполнение ретроспективных расчетов с учетом величины вырабатываемой мощности, длительности работы и перетоков электроэнергии в электротехническом комплексе в целом. Ставится задача создать программный алгоритм, который позволял бы определять величину электрической нагрузки по данным вырабатываемой мощности и времени.

Практическая реализации описанного алгоритма определена только рамками исходной информации и сложностью составления исполняющей программы. В качестве среды моделирования может использоваться *Matlab Version 6.0*.

Сбор и подготовка исходных данных.

В качестве исходной информации используются данные параметров высвобождающейся активной мощности, температуры, значения электрической нагрузки (целевые значения нечеткой нейронной сети). Входные параметры задаются интервально, то есть для каждого из них задавались минимальные и максимальные значения (интервал). При формировании нечеткой нейронной сети для прогнозирования исследовалось применение следующих алгоритмов нечеткого вывода: алгоритм Мамдани и алгоритм Сугено. Реализация алгоритма Мамдани предусматривает выполнение следующих правил:

- формирование базы правил систем нечеткого вывода;
- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукции (для нахождения степени истинности условий каждого из правил нечетких продукции использовались парные нечеткие логические операции);
- активизация подзаключений в нечетких правилах. В данном случае применялся метод *min*-активизации:

$$\mu'(y) = \min \{c_i, \mu(y)\}, \quad (4)$$

где $\mu(y)$ – функция принадлежности терма, который является значением выходной переменной, заданной на универсуме;

- аккумуляция заключений нечетких правил продукции;
- дефаззификация выходных переменных. Применялся метод относительно среднего центра:

$$y_c = \frac{\sum_i^M \mu(y_{ci}) y_{ci}}{\sum_i \mu(y_{ci})}, \quad (5)$$

где y_{ci} – обозначает центр i -го нечеткого правила; $\mu(y_{ci})$ – это значение функции принадлежности, соответствующей этому правилу.

Алгоритм Сугено включает выполнение следующих условий:

- формирование базы правил систем нечеткого вывода. При этом следует заметить, что в базе правил использовались только правила нечетких продукций в виде:

ПРАВИЛО:

$$\begin{aligned} x_1 \text{ есть } A_1 \text{ и } x_2 \text{ есть } A_2, \\ \text{то } w_1 = \varepsilon_1 a_1 + \varepsilon_2 a_2, \end{aligned} \quad (6)$$

где ε_1 и ε_2 – некоторые весовые коэффициенты;

- фаззификация входных переменных;
- агрегирование под условия нечетких правил (для определения уровня истинности условий всех правил нечетких показателей применялась логическая операция *min*-конъюнкции);
- активизация подфункций в нечетких правилах осуществляется тем же способом по алгоритму Мамдани в соответствии с формулой (5), далее рассчитываются нечеткие значения выходных параметров;
- накопление заключений нечетких правил;
- дефаззификация выходных переменных, рассчитывается с использованием модифицированного метода центра тяжести для одноточечных множеств:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n c_i w_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (7)$$

где n – общее количество активных правил нечетких продукций.

В дальнейшем на базе тестирования сетей, созданных с применением этих алгоритмов, была выбрана

нечеткая нейронная сеть, в которой реализуется алгоритм Сугено. Это связано с тем, что нечеткая нейронная сеть с алгоритмом Сугено имеет меньшую ошибку обучения и ошибку прогнозирования. В дальнейшем при прогнозировании величины электрической нагрузки разрабатывались нечеткие нейронные сети с алгоритмом Сугено.

Прогнозирование величины электрической нагрузки в дежурном режиме

При прогнозировании электрической нагрузки в дежурном режиме стоит принять во внимание, что питание системы осуществляется с наземной части системы

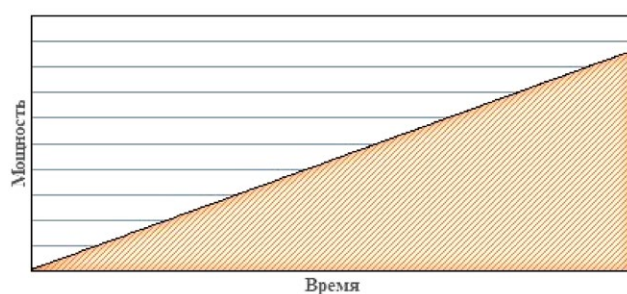


Рис. 2. График нагрузки в дежурном режиме.
Fig. 2. Load schedule in standby mode.

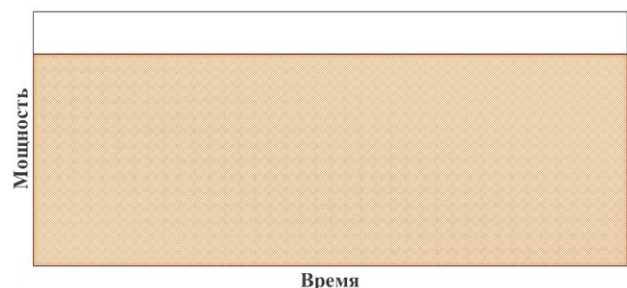


Рис. 3. График нагрузки при подготовке к проведению основного режима.
Fig. 3. Load schedule in preparation for the main mode.

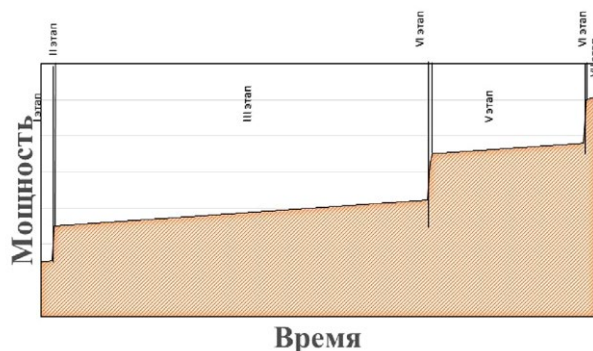


Рис. 4. График нагрузки в основном режиме.
Fig. 4. Load graph in the main mode.

электроснабжения летательного аппарата и ее учет при рассмотрении данного вопроса значения не имеет, аккумуляторная батарея разряжается в соответствии с графиком электрической нагрузки, соответствующим саморазряду аккумуляторной батареи, так как время работы в дежурном режиме может составлять от минут до десятка лет, график имеет вид, изображенный на рис. 2.

Прогнозирования электрической нагрузки в режиме приведения

Аналогичная ситуация происходит в момент начала подготовки к проведению «Основного режима», продолжает работать наземное оборудование. Разряда аккумуляторной батареи не происходит, так как данный период жизненного цикла характеризуется малой продолжительностью времени и заканчивается подключением шины питания аккумуляторной батареи, график нагрузки изображен на рис. 3.

Прогнозирования электрической нагрузки в основном режиме

Теперь рассмотрим применение летательного аппарата. При подключении шины питания бортовой аккумуляторной батареи, летательный аппарат начинает этап полета, который обусловлен работой разнообразных потребителей от бортовой батареи, где характерной чертой является наличие этапов, характеризующихся скачкообразным изменением нагрузки, вызванным нелинейной работой бортового оборудования летательного аппарата.

Данный этап является наиболее значимым для исследований, так как является основным в жизненном цикле летательного аппарата, график нагрузки изображен на рис.4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно сказать, что из-за использования отлаженной нечетко-нейронной технологии для предсказания электрических нагрузок, реализованной в корректно спроектированной и обученной нечеткой нейронной сети, стало возможным обеспечить необходимую точность и быстроту прогнозирования электрических нагрузок.

Возможный показатель ошибки прогноза позволяет продолжать проработку вопроса при системной проработке алгоритма. Прогнозируемые величины электрических нагрузок, а также данные о действительных нагрузках, потоках и потерях необходимо правильно использовать для будущего анализа состава и структуры собственных сетей и сопутствующих вопросов,

а также для разделения стоимости эксплуатации различного электрооборудования.

Вопросы резервирования важных систем космической и ракетной техники откладывают свой значительный отпечаток на графиках электрических нагрузок. Количество потребителей и преобразователей электрической энергии в совокупности с значительным запасом первичных источников питания электротехнического комплекса летательного аппарата определяет емкость, габариты и массу бортовых батарей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

ЛИТЕРАТУРА

1. Charytoniuk W., Chen M.S. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network // *IEEE Transactions on Power Systems*. 1995. Vol. 7, N 1.
2. Гордеев В.И., Васильев И.Е., Щуцкий В.И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1991.
3. Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки. Москва: Энергоатомиздат, 1987.
4. Srinivasan D., Tan S.S., Chang C.S., Chan E.K. Practical implementation of a hybrid fuzzy neural network for one-day-ahead load forecasting // *IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution*. 1998. Vol. 145, N 6. P. 687–692. doi: 10.1049/ip-gtd:19982363
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2003.

REFERENCES

1. Charytoniuk W, Chen MS. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network. *IEEE Transactions on Power Systems*. 1995;7(1).
2. Gordeev VI, Vasil'ev IE, Shchutskii VI. *Upravlenie elektropotrebleniem i ego prognozirovanie*. Rostov-on-Don: Izdatel'stvo Rostovskogo universiteta; 1991. (In Russ).
3. Bunn DH, Farmer ED. *Comparative models for electrical load forecasting*. Moscow: Energoatomizdat, 1987. (In Russ).
4. Srinivasan D, Tan SS, Chang CS, Chan EK. Practical implementation of a hybrid fuzzy neural network for one-day-ahead load forecasting. *IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution*. 1998;145(6):687–692. doi: 10.1049/ip-gtd:19982363
5. Leonenkov AV. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy TECH*. Saint Petersburg: BKhV-Peterburg; 2003. (In Russ).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work. The authors prove compliance of their authorship with ICMJE criteria.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. Authors state that this reasearch was not supported by any external sources of funding.

6. Гордеев В.К., Надтока И.И. Взаимная корреляция в расчетах характеристик графиков электрической нагрузки // *Электричество*. 1978. №8. С. 17–21.
7. Гордеев В.И. Расчет дисперсии графиков электрической нагрузки // *Электричество*. 1971. № 10. С. 86–88.
8. Алексеева И.Ю., Степанов В.П., Ведерников А.С. Метод экспоненциального сглаживания линии тренда временного ряда в сочетании с методом индексов сезонности при краткосрочном прогнозировании электропотребления // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2008. № 1. С. 137–143.
9. Лукашин Ю.Г. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. Москва: Статистика, 1972.
10. Гордеев В.И., Васильев И.Е., Щуцкий В.И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1991.

6. Gordeev VK, Nadтока II. Vzaimnaya korrelyatsiya v raschetakh kharakteristik grafikov elek-tricheskoi nagruzki. *Elektrichestvo*. 1978;(8):17-21. (In Russ).
7. Gordeev VI. Raschet dispersii grafikov elektricheskoi nagruzki. *Elektrichestvo*. 1971;(10):86–88. (In Russ).
8. Alekseeva IY, Stepanov VP, Vedernikov AS. Metod eksponentsial'nogo sglazhivaniya linii trenda vremennogo ryada v sochetanii s metodom indeksov sezonnosti pri kratkosrochnom prognozirovanii elektropotrebleniya. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskije nauki*. 2008;(1):137–143. (In Russ).
9. Lukashin YG. *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya*. Moscow: Statistika; 1972. (In Russ).
10. Gordeev VI, Vasil'ev IE, Shutskii VI. Upravlenie elektropotrebleniem i ego prognozirovanie. Rostov-on-Don: Izd-vo RGU; 1991. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Ерошкин Дмитрий Александрович,**

адъюнкт,
кафедра «Электроснабжения ракетных комплексов»;
адрес: Россия, 143900, г. Балашиха, ул. Карбышева, д. 8;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5052-2761>;
e-mail: Demka212010@mail.ru

Чернов Александр Егорович,

доцент, д-р техн. наук,
кафедра «Электроснабжения ракетных комплексов»;
e-mail: chae-1966@yandex.ru

Малеев Руслан Алексеевич,

профессор, канд. техн. наук
кафедра «Электрооборудование и промышленная электроника»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3430-6406>;
eLibrary SPIN: 7801-3294;
e-mail: 19rusmal@gmail.com

Федоренко Елена Николаевна,

старший преподаватель
кафедра «Электрооборудование и промышленная электроника»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9351-8228>;
eLibrary SPIN: 5316-8683;
e-mail: rifan2008@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

***Dmitry A. Eroshkin,**

Adjunct,
Department of «Power Supply of missile systems»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5052-2761>;
e-mail: Demka212010@mail.ru

Alexander Y. Chernov,

Associate Professor, Dr. Sci. (Engin.),
Department of «Power Supply of Missile Systems»;
e-mail: chae-1966@yandex.ru

Ruslan A. Maleev,

Professor, Cand. Sci. (Engin.)
Department of Electrical Equipment and Industrial Electronics;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3430-6406>;
eLibrary SPIN: 7801-3294;
e-mail: 19rusmal@gmail.com

Elena N. Fedorenko,

Senior Lecturer
Department of Electrical Equipment and Industrial Electronics;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9351-8228>;
eLibrary SPIN: 5316-8683;
e-mail: rifan2008@yandex.ru

* Corresponding author