



КАЗАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**XXV ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ  
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,  
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА**

**Казань, 7–8 декабря 2021 г.**

**Материалы докладов**

**В трех томах**

**Том 1**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»**

**XXV ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ  
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,  
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА**

Казань, 7–8 декабря 2021 г.

Материалы конференции

В трех томах

ТОМ 1

*Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э. Ю. Абдуллазянова*

Казань 2022

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

Д22

Рецензенты:

заведующий кафедрой ИЭ ФГБОУ ВО «КНИТУ-КХТИ»,

доктор технических наук, профессор И. Г. Шайхиев;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И. Г. Ахметова (зам. гл. редактора),

Е. С. Дремичева

Д22        XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : материалы конференции : [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 1. – 478 с.

ISBN 978-5-89873-586-9 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-589-0

В сборнике представлены материалы XXV Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного Дню энергетика, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло- и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетике, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

ISBN 978-5-89873-586-9 (т. 1)

© КГЭУ, 2022

ISBN 978-5-89873-589-0

Дополнительным плюсом ТЭ считается маленький расход используемых материалов по сравнению с классическими химическими системами. В конце концов, при работе ТЭ исключаются малоэффективные, идущие с огромными потерями энергии, процессы горения и не случается образование экологически вредоносных продуктов окисления.

### **Источники**

1. Денисова А.Р., Гайфуллин А.Р. Модернизация системы электроснабжения на предприятии нефтедобывающей отрасли с использованием альтернативных источников энергии // Фёдоровские чтения - 2018: XLVIII Междун. науч.-практ. конф. с элементами научной школы. М.: Издательский дом МЭИ, 2018. С. 396-397.

2. Иванова В.Р., Денисова А.Р., Семенов Д.Г. Разработка алгоритма эффективного управления основными элементами электротехнической системы биогазового оборудования // Промышленная энергетика. 2020. № 8. С. 17-25.

3. Бухаров А.И., Емельянов И.А., Судаков В.П. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988, С 288.

4. Тарасов Б.П., Фурсиков П.В. Разработка и создание водородной системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.icp.ac.ru/mediastore/FILES/Shirshova/Dokumenty/FTSP/14.604.21\\_otchet\\_1etar.pdf](http://www.icp.ac.ru/mediastore/FILES/Shirshova/Dokumenty/FTSP/14.604.21_otchet_1etar.pdf) (дата обращения: 02.11.2021).

5. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии: Учебно-справочное руководство. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект». 2011. С 296.

УДК 621.31

## **МЕТОДЫ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Рустам Ринатович Яппаров

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. Н. В. Роженцова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

yapparovrr@yandex.ru

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены основные методы краткосрочного прогнозирования в электроэнергетике: статистические методы и методы искусственного интеллекта. Описаны способы прогнозирования с использованием искусственных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** краткосрочное прогнозирование, статистические методы, методы искусственного интеллекта, искусственные нейронные сети.

# MODERN DIGITAL ELECTRICITY METERING DEVICES

Rustam R. Yapparov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
yapparovrr@yandex.ru

**Abstract.** In this paper, the main methods of short-term forecasting in the electric power industry are considered: statistical methods and methods of artificial intelligence. Methods of forecasting using artificial neural networks are described.

**Keywords:** short-term forecasting, statistical methods, artificial intelligence methods, artificial neural networks.

Прогнозирование энергопотребления является основой принятия решений в управлении электростанциями при планировании их нормальных электрических режимов. На основании прогнозов нагрузки планируются оптимальные режимы работы электроустановок, оценивается надежность их работы и энергоэффективность.

Методы краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки можно разделить на две большие категории: статистические методы и методы искусственного интеллекта [1]. В статистических методах полученные уравнения показывают взаимосвязь между потреблением энергии и факторами, влияющими на него [2]. Методы искусственного интеллекта являются аналогом человеческого мозга и позволяют получить знания о прошлом опыте, чтобы предсказать будущие нагрузки [1]. Рассмотрим эти два типа методов подробнее:

1. Статистические методы прогнозирования включают исследование, разработку и использование современных математических и статистических систем прогнозирования, основанных на независимых данных [2]. Научной основой методов статистического прогнозирования являются прикладная статистика и теория принятия решений. Эти методы могут прогнозировать ежедневный график нагрузки в обычные дни с минимизированной погрешностью, но статистические методы не позволяют анализировать нагрузку в праздничные или другие дни из-за малой гибкости их структуры [2].

Статистические методы включают в себя математическую статистику, экстраполяцию и интерполяцию; математический анализ, аналитическое моделирование и др.

2. Искусственный интеллект обычно понимается, как свойство автоматических систем выполнять некоторые функции мыслительной способности человека, такие как выбор оптимального решения на основе предшествующего опыта и анализа внешних факторов [3].

Использование искусственной нейронной сети (ИНС) позволяет создавать новые подходы к решению сложных задач прогнозирования, которые решаются в отсутствие предварительной априорной информации о законах моделируемых процессов [3].

Количество задач электроэнергетики, для которых используются нейротехнологии, огромно. Структура ИНС адаптируется к условиям решения любой задачи. Нейроны в архитектурную ИНС добавляются, если точность решения начальной сети недостаточна. Также из ИНС удаляются лишние нейроны и их связи для борьбы с переобучением сети, так как структура становится избыточна [4].

Для описания сложных нелинейных зависимостей используют нейронные сети с применением пакета STATISTICA – уникальной технологии для изучения нелинейных систем в различных отраслях промышленности [2].

Основные типы нейронных сетей:

– линейная нейронная сеть – это сеть без промежуточных слоев, а выходной слой содержит только линейные элементы с функциями активации [5]. Использование линейной нейронной сети основано на линейной связи входных и выходных параметров;

– вероятностная нейронная сеть предназначена для задач классификации и состоит из трех слоев: входного, радиального и выходного [5];

– радиально-базисная нейронная сеть является сетью прямого распространяющегося сигнала, которая содержит промежуточный (скрытый) слой радиально симметричных нейронов [5]. Сети, которые работают на основе радиально-базисных функций, используются для решения широкого круга проблем, среди которых часто встречаются аппроксимация, классификация и кластеризация данных [4];

– нейронная сеть многослойный персептрон состоит из множества входных узлов, формирующих входной слой; одного или нескольких слоев вычислительных нейронов; выходной слой нейронов. Каждый нейрон сети имеет нелинейную функцию активации – сигмоидальную [5].

При выборе одного из методов необходимо выбирать метод ИНС, хоть он и более затратный в плане ресурсов. В качестве способа краткосрочного прогнозирования метод ИНС более гибкий, поэтому и более точный. С помощью анализа ранее полученных данных нейронная сеть с большей долей вероятности определит данные даже в периоды пиковой нагрузки.

### **Источники**

1. Капанский А.А. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергетической эффективности // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 2 (42). С. 103-115.
2. Романова Е.М. Численные методы и регрессионный анализ в прогнозировании экономических показателей // Вестник КГЭУ. 2017. № 1 (33). С. 142-146.
3. Симонов Н., Ивенев Н. Опыт и перспективы применения искусственных нейронных сетей в электроэнергетике // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № S4 (15). С. 42-48.
4. Мясников Е.Ю. Перспективы применения нейронных сетей в решении задач электроэнергетики // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. 2020. С. 54-60.
5. Mokhov V.G., Demyanenko T.S., Ostanin I.P. Energy consumption modelling using neural networks of direct distribution on example of Russia United Power System // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2016. Т. 3. № 4. С. 73-78.

<b>Павлов К.И., Уразбахтина Л.Р.</b> Пути энергосбережения для тепличного комплекса. ....	321
<b>Савин Н.А.</b> Повышение энергоэффективности при внедрении автоматизированной системы управления освещением. ....	324
<b>Янов Т.А.</b> Водородный способ аккумулирования электрической энергии для питания потребителей в периоды пиковых нагрузок. . .	327
<b>Яппаров Р.Р.</b> Методы краткосрочного прогнозирования в электроэнергетике. ....	329

### **Секция 8. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем**

<b>Ахметзянова Г.И., Семенов М.Н., Султанова Г.И.</b> Эффективность работы релейной защиты при наличии двигательной нагрузки. ....	333
<b>Максакова Е.Д.</b> Решение вопросов защиты ближнего резервирования автотрансформатора. ....	336
<b>Мухамадеев Э.И.</b> Интеллектуальная сеть с элементами SMART GRID. ....	339
<b>Сахабутдинов А.А.</b> Стратегия повышения надежности релейной защиты цифровой подстанции. ....	341
<b>Семенов М.Н., Ахметзянова Г.И.</b> Определение зоны нечувствительности дистанционной защиты автотрансформатора на стороне низкого напряжения. ....	344
<b>Семенов М.Н., Иванов К.В., Базеева И.Ю.</b> Компенсация влияния взаимоиндукции параллельной линии в дистанционной защите от замыканий на землю без использования тока параллельной линии. .	347

### **Секция 9. Инженерная защита окружающей среды и безопасность труда на производстве**

<b>Алина А.А.</b> Система очистки сточных вод автомойки. ....	350
<b>Ахметзянова К.Р.</b> Анализ величины наведенного напряжения на кабельных линиях. ....	352
<b>Галлямова В.Г.</b> Выбор оборудования системы механической очистки сточных вод предприятия. ....	355
<b>Гатаулина А.Р.</b> Прогнозирование природной пожарной опасности в Республике Коми по солнечной активности. ....	358

Научное издание

XXV ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ  
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,  
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА

(Казань, 7–8 декабря 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор *Е. С. Дремичева*  
Компьютерная верстка *Е. С. Дремичевой*  
Дизайн обложки *Ю. Ф. Мухаметшиной*

Подписано в печать 28.02.2022

Формат 60x84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ

Усл. печ. л. 27,78      Уч.-изд. л. 22,53      Тираж 200 экз.      Заказ №5241

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, Казань, Красносельская, д. 51



ISBN 978-5-89873-586-9



9 785898 735869