

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Калантаевской Натальи Игоревны «Краткосрочное прогнозирование объемов энергопотребления с использованием технологий машинного обучения» представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07103 – «Электроэнергетика»

Актуальность работы. На современном этапе развития энергетической отрасли Казахстана, когда объем производства электрической энергии достиг стабильных высоких показателей, производимые мощности практически покрывают спрос промышленных и бытовых потребителей в электрической энергии, актуальным становится вопрос повышения качества функционирования энергетической системы в целом.

Главной отличительной характеристикой обеспечения электроэнергией потребителей является постоянный процесс выработки, а также одновременное с этим распределение и потребление электроэнергии. Оптимальное распределение электрической энергии среди членов энергетического рынка напрямую оказывает воздействие на качество поставляемой энергии. Так резкое изменение объемов потребления энергии способно привести к перегрузке и выходу из строя оборудования, а также снижению функциональности системы электроснабжения как таковой. Нагрузка на оборудование и линии электропередач напрямую зависит от потребления энергии. Востребованной становится информация о величине потребления в следующий час и следующие сутки. Составление верного прогноза потребления энергии поможет создать систему оперативного диспетчерского управления, которая позволит заблаговременно изменить топологию распределительной сети и избежать аварийных ситуаций.

Кроме этого, с 2008 года на территории Казахстана стартовала работа балансирующего рынка электрической энергии. Таким образом производители электрической энергии могут не только снабжать электричеством регион, в котором она произведена, но и по магистральным сетям продавать энергию в другие регионы и страны, либо наоборот закупать энергию.

Особенность работы данного рынка касательно сделок по покупке, а также продаже электрических ресурсов выстраивается на принципе свободной торговли, в условиях которой члены рынка покупают исключительно разницу между реально использованной энергией, и той, что заявлена ранее. Поэтому чем значительнее разница между планируемыми потребностями и результатом использования ресурсов, больше материальных затраты несут организации, работающие на балансирующем рынке. Правила работы описанного рынка энергии создают предпосылки и условия, когда организациям, участвующим в торгах выгодно строить наиболее точные прогнозы касательно использования электроэнергии.

Существуют различные методы и способы прогнозирования нагрузки. Наиболее часто применяемы на практике это различные сочетания статистических методов. Не во всех случаях данный метод дает хороший

результат. Различные объекты, обладают своим специфическим характером потребления энергии, а также разнообразные факторы влияют объем потребления энергии на тех или иных объектах. Среди особенностей потребления энергии можно выделить сложность в установлении зависимостей между факторами, оказывающими влияние на потребление энергии и фактической мощностью потребления, а также изменение уровня воздействия при сочетании определенных факторов.

Решению различных задач в прогнозировании энергопотребления посвящены работы следующих ученых: Бердин А.С., Бэнн, Васильева Е.Е., Вагин В.А., Воропай Н.И., Готман Н.Э., Кудрин Б.И., Макоклюев Б.И., Меламед А.М., Надтока И.И., Седов А.В., Шумилова Г.П. и пр.

В связи с меняющимися условиями работы на балансирующем рынке электроэнергии, изменению и усложнению систем электроснабжению, изменяются требования к качеству и точности прогнозирования. Проблема прогнозирования нагрузки остается актуальной и активно развивается ее изучение. Степень современного развития интеллектуальных методов анализа данных, позволяет совершенствовать системы прогнозирования.

Способ прогнозирования, позволяющий получить достоверный результат с неопределенными, либо не полными входными параметрами является использование средств машинного обучения, а именно искусственных нейронных сетей.

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка способов, моделей и алгоритмов прогнозирования объемов энергопотребления с применением средств машинного обучения, а именно искусственных нейронных сетей, для дальнейшего использования в системе поддержки принятия оперативных диспетчерских решений.

Для достижения поставленных целей в диссертационной работе были определены и решены задачи:

1. Создан задачник для обучения нейронной сети, содержащий значения объемов потребленной нагрузки за сутки, предшествующие дню прогнозирования, ретроспективная информация об объемах потребленной нагрузки в аналогичный день предыдущего года, данные о типе дня недели, а также информацию о численном значении температуры воздуха в день прогнозирования;
2. Проведен анализ степени влияния различных баз данных на точность прогнозирования;
3. Разработан алгоритм обучения нейронной сети, в том числе подобрана архитектура нейронной сети, процесс обучения, подходящий для прогнозирования временных рядов;
4. Разработана методика поддержки принятия диспетчерских решений на основе прогнозирования энергопотребления;
5. Создана база рекомендаций по предупреждению о возможном состоянии энергосистемы, по изменению топологии энергосистемы для более эффективной работы.

Объект исследования: суточные графики энергопотребления г. Петропавловска, Северо-Казахстанской области, Республика Казахстан.

Предмет исследования: способы и процессы прогнозирования энергопотребления.

Научная новизна заключается в следующих положениях и результатах:

- Разработана интеллектуальная модель краткосрочного прогнозирования энергопотребления на основе искусственной нейронной сети отличающаяся высокой;
- Выявлен базовый состав факторов, внесение которых в нейронную сеть повышает точность прогнозирования;
- Разработана методика использования данных прогноза для поддержки принятия диспетчерских решений.

Практическая ценность.

1. Составлен алгоритм поддержки принятия диспетчерских решений на основе прогнозирования потребления электроэнергии электроэнергетических систем с использованием искусственных нейронных сетей.
2. Осуществлена программная реализация прогнозирования объемов потребления электроэнергии в среде MATLAB.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

- модель искусственной нейронной сети с набором данных обучающего задачника для краткосрочного прогнозирования энергопотребления на сутки вперед;
- алгоритма задания данных обучающего задачника и обучения нейронной сети;
- структура методики поддержки принятия оперативных диспетчерских решений;
- алгоритм функционирования блока поддержки принятия решений;
- схематическая диаграмма функциональной архитектуры системы принятия решений.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на: III Международной научно-технической конференции (Омск, 2019); Международной научно-практической конференции «Проблемы развития технического потенциала и направления его повышения» (Уфа, 2019); а также Международной научно-практической конференции «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития в условиях глобальных вызовов» (Петропавловск, 2018).

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 печатных научных работах, а именно, в 4 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, в 1 статье – в международном научном журнале, имеющем ненулевой импакт-фактор (индексированных в базе данных Web of Science и Scopus), в 4 работах, отраженных в трудах международных научных

конференций, в том числе 3 в зарубежных и 1 в республиканских, а также в 1 патенте.

Личный вклад автора.

Автору диссертации принадлежат основные результаты теоретических и экспериментальных исследований. Участие автора в совместных публикациях с соавторами состоит в постановке задач и проведении экспериментальных исследований, разработке методов и алгоритмов, расчётов и обобщении полученных результатов.

Структура диссертации. Диссертация имеет классическую структуру: вводная часть, основная часть (пять глав, в том числе выводы по каждой главе), заключение, список использованных источников. Работа изложена на 102 страницах компьютерного текста, включает 45 рисунков, 7 таблиц и 105 наименований библиографических источников, 2 приложения.

Во введении описывается актуальность темы диссертационного исследования, цели. Дается описание предмета и объекта исследования. Указываются положения выносимые на защиту. Дается краткое описание каждой главы исследования.

В первой главе описывается энергетический рынок Северо-Казахстанской области. Рассматриваются основные проблемы, имеющиеся в энергетической отрасли Казахстана. Цифровизация энергетики рассматривается как один из наиболее эффективных и актуальных способов повышения качество функционирования энергосистемы.

Во второй главе производится анализ существующих методов прогнозирования энергопотребления. Описываются наиболее распространенные способы прогнозирования и указываются их основные преимущества и недостатки. Использование средств машинного обучения, а именно искусственных нейронных сетей, рассматривается как наиболее эффективный способ прогнозирования объемов энергопотребления. Дается описание и указываются основные разновидности и способы работы искусственных нейронных сетей.

В третьей главе описываются основные этапы и алгоритмы для обучения искусственной нейронной сети. Производится анализ исходных фактических данных для прогнозирования, подбирается оптимальный состав обучающей выборки.

В четвертой главе описывается методика поддержки принятия оперативных диспетчерских решений на основе краткосрочного прогнозирования объемов энергопотребления. Приводится алгоритм работы и описание основных блоков системы поддержки принятия диспетчерских решений.

В пятой главе проводятся экспериментальные исследования системы прогнозирования энергопотребления для поддержки принятия решений. Проводится экспериментальное исследование точности прогноза от состава исходных данных.

В заключении обобщаются проведенные исследования и делаются выводы на основе полученных результатов.

Работы опубликованные по теме диссертации

1. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. К вопросу о способах прогнозирования потребления электрической мощности // Материалы МНПК «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития в условиях глобальных вызовов», Т.2. - Петропавловск: СКГУ им. М.Козыбаева, 2018. с. 259-262
2. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. Прогнозирование энергопотребления железнодорожной инфраструктуры средствами искусственных нейронных сетей в Северо-Казахстанском регионе // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Проблемы развития технического потенциала и направления его повышения». Агентство международных исследований. 2019. Стр.42-46.
3. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. Нейросетевые технологии в энергетическом комплексе // Вестник Павлодарского государственного университета. Энергетическая серия, №1(2019), 2019, С. 237-243
4. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Савостин А.А. Латыпов С.И. Прогнозирование энергопотребления Северного Казахстана на основе технологии глубокого обучения // Проблемы машиноведения. Материалы III Международной научно-технической конференции. Издательство: Омский государственный технический университет (Омск), 2019
5. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. Балансирование энергопотребления с применением технологий машинного обучения // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции "Наукоёмкие технологии и интеллектуальные системы". Агентство международных исследований. 2019. Стр.19-22
6. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. Модель организации данных и процесса обучения нейронной сети при построении графиков нагрузки на сутки вперед // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – Алматы, 2019. №3(46) - С. 11-16
7. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. Исследования влияния способа организации обучающей выборки на точность прогнозирования электрической нагрузки // Вестник Павлодарского государственного университета. Энергетическая серия, №3(2019), 2019, С. 250-256
8. Калантаевская Н.И., Кошекков К.Т., Латыпов С.И. Исследование эффективности применения нормализации данных при построении графиков нагрузок на сутки вперед с помощью техник машинного обучения // Вестник Павлодарского государственного университета. Энергетическая серия, №3(2019), 2019, С. 257-264
9. Kalantayevskaya N.I., Koshekov K.T., Latypov S.I., Savostin A.A., Kunelbaev M M. Design of decision-making support system in power grid dispatch control based on the forecasting of energy consumption // Cogent Engineering (2022), 9: 2026554 DOI: [10.1080/23311916.2022.2026554](https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2026554)