

Энергетика . Автоматика

УДК 621.316

Мясоедов Юрий Викторович

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: myv@amursu.ru**Селиверстова Елена Ивановна**

Амурский государственный университет

г. Благовещенск, Россия

E-mail: Elena_sel03@mail.ru**Myasoedov Yuriy Viktorovich**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: myv@amursu.ru**Seliverstova Elena Ivanovna**

Amur State University

Blagoveshchensk, Russia

E-mail: Elena_sel03@mail.ru**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ-ВЫРАБОТКИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ****FORECASTING CONSUMPTION-GENERATION
OF ELECTRIC ENERGY IN TECHNICAL SYSTEMS**

Аннотация. Работа представляет собой исследование методов и моделей, применяемых для предсказания энергетических потоков в технических системах, включая энергетические сети, промышленные предприятия и возобновляемые источники энергии.

Abstract. This work is a study of methods and models used to predict energy flows in technical systems, including power grids, industrial enterprises and renewable energy sources.

Ключевые слова: прогнозирование энергопотребления, выработка электроэнергии, технические системы, машинное обучение, искусственные нейронные сети.

Key words: energy consumption forecasting, power generation, technical systems, machine learning, artificial neural networks.

Введение

В последние годы наблюдается быстрый рост потребления электроэнергии. Десять лет назад населению хватало минимума электроприборов для комфортной жизни, однако сегодня города часто сталкиваются с дефицитом мощности и энергии, а промышленные предприятия

не в состоянии нарастить производство. На Дальнем Востоке ситуация осложнена тем, что в некоторых его городах темпы роста превышают возможности генерирующих компаний, в то время как в других регионах России наблюдается обратная картина.

Поэтому прогноз потребления и выработки электрической энергии в технических системах – задача, решение которой позволит энергетическим компаниям эффективнее распределять электроэнергию, управлять ее производством и распределением, а также снизить риски перебоев в энергоснабжении и повысить его надежность. Кроме того, точные прогнозы способны помочь потребителям оптимизировать потребление электроэнергии и сэкономить на энергозатратах.

Для прогнозирования потребления и выработки электрической энергии используются различные методы и модели, включая статистические анализы, математические модели, нейронные сети и машинное обучение. Важными факторами, которые необходимо учитывать при прогнозировании, являются климатические условия, пиковые нагрузки, динамика потребления и др.

В документах по проектированию развития энергосистем, утвержденных приказом Министерства энергетики Российской Федерации № 1286 от 06.12.2022 г., описываются требования к разработке прогнозов потребления электроэнергии на долгосрочный и среднесрочный периоды для различных энергосистем в России.

В соответствии с правилами оптового рынка электрической энергии и мощности, утвержденными Постановлением Правительства Российской Федерации № 1172 от 27.12.2010 г., участникам рынка необходимо в обязательном порядке составлять краткосрочные, в частности суточные, прогнозы потребления электроэнергии. Кроме того, в документе определены последствия в случае расхождения этих прогнозов с фактическими показателями потребления.

Схема и программа развития Единой энергетической системы России, ежегодно утверждающиеся распоряжением Правительства Российской Федерации, – пример использования прогнозирования потребления электроэнергии. Документ содержит прогнозы и показатели потребления электроэнергии в целом по ЕЭС России, а также по каждой объединенной энергетической системе на разные периоды. Такой метод планирования целесообразен для оценки изменения спроса на электроэнергию. На период 2023-2028 гг. утвержден приказ Министерства энергетики Российской Федерации № 108 от 28.02.2023 (СИПР ЕЭС). Указаны предполагаемые оценки потребления электроэнергии для энергетической системы в целом, а также отдельно для систем Северо-Запада, Центра, Средней Волги, Юга, Урала, Сибири и Востока.

Анализ соответствующих документов показывает, что вопрос о возможности потребления электроэнергии остается злободневным. Важно подчеркнуть, что к прогнозам потребления ЭМ предъявляются строгие требования по точности, причем прогнозирование должно происходить в кратчайшие сроки.

Методы прогнозирования энергопотребления различаются в зависимости от временных рамок, а для возобновляемых источников энергии (ВИЭ) главным вызовом остается определение точной мощности, которую они смогут сгенерировать. Это связано с переменчивостью климатических условий, которые могут быть весьма нестабильными, что делает не-

возможным для энергосистем на основе ВИЭ обеспечение постоянного уровня требуемой мощности. Тем не менее, электростанциям, оснащенным передовыми цифровыми технологиями и обширными системами телеметрии, применение алгоритмов машинного обучения позволяет с высокой точностью (около 95%) предсказывать объем выработки электроэнергии на сутки вперед, если правильно выбрать модель обучения. Могут использоваться также сложные модели для прогнозирования производства и потребления энергии на основе информации, собранной из автоматизированных систем управления технологическим процессом, из систем для измерения параметров электрооборудования главной схемы электростанции и передачи ее на диспетчерские пункты. Кроме того, эти модели могут включать в себя базы данных погодных условий от различных метеостанций, что позволяет значительно повысить точность прогнозов выработки энергии из ВИЭ.

Статистический метод прогнозирования энергопотребления

Имеется множество подходов к прогнозированию, описанных в ряде исследований [1, 2]. Однако наиболее широко применяем из них метод вейвлет-преобразования. Прогнозирование в данном случае будет реализовано через использование пакетного вейвлет-анализа. Выбранный метод эффективен в устранении шума и случайных флуктуаций в данных, а также подходит для обработки дискретных сигналов, что способствует более точному определению тренда потребления электроэнергии. Для более глубокого изучения принципов и применения вейвлет-преобразования можно обратиться к работам [3, 4]. Необходимо подчеркнуть, что даже при использовании различных вейвлет-функций из одного семейства не удастся значительно снизить ошибку прогноза.

Использование нейросети для прогнозирования энергопотребления

Метод нейронных сетей часто находит применение в современных исследованиях. Исходя из статьи [5], можно выделить ряд эффективных алгоритмов обучения, которые встречаются во многих технических системах: алгоритм, построенный на принципах байесовской регуляризации, метод Левенберга – Марквардта. Были проанализированы различные архитектуры нейронных сетей, такие как модель нелинейной авторегрессии с внешними входами или сеть прямого распространения. При использовании алгоритма, построенного на байесовской регуляризации с различными архитектурами (их существует больше ста видов), можно получить в сумме максимальную ошибку прогнозирования, дойдя до сотых долей процента.

Статистические методы прогнозирования наиболее эффективны при анализе исторических данных с явными трендами, корреляциями и влиянием внешних переменных; применяются они и для краткосрочных и среднесрочных прогнозов. Возможность разработки математической модели связана с количественно отражающими факторами, влияющими на потребление электроэнергии, в виде уравнений. Методы, созданные на нейронных сетях, способны анализировать данные прошлых прогнозов, для которых не всегда можно определить влияющие факторы, и помочь найти способы их устранения. Стоит отметить, что их применяют ко всем типам прогнозирования. Обучение модели приводит к оптимизации параметров, что позволяет генерировать прогнозы, учитывая влияние переменных (без их точного описания), оказывающих влияние на исследуемые данные.

Заключение

Для углубления исследований в области прогнозирования энергопотребления представляется целесообразным изучение комбинированных подходов, объединяющих различные прогностические техники. Одним из перспективных направлений может стать интеграция вейвлет-преобразования с искусственными нейронными сетями, идея которой уже получила отражение в ряде международных публикаций [6, 7]. В современных научных исследованиях все чаще акцент делается на гибридных моделях. Как отмечается в обзорных статьях [8, 9], гибридные нейронные сети считаются наиболее многообещающими и могут применяться во всех технических системах, несмотря на сопутствующие сложности в их создании. Выбор метода зависит от конкретных условий применения, но в любом случае средства прогнозирования непрерывно развиваются и совершенствуются.

-
1. Русина, А.Г., Тувшин, О., Матренин, П.В., Попов, Н.С. Прогнозирование суточного графика электропотребления рабочих дней с учетом метеофакторов для центральной энергосистемы Монголии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022 – №2 – С. 97-106.
 2. Широбокова, О.Е., Зайцев, А.А. Влияние метеорологических факторов на прогнозирование электропотребления // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК – Брянск: Брянский гос. аграрный ун-т, 2022 – С. 255-260.
 3. Катеров, Ф.В., Ремесник, Д.В. Основы вейвлет-преобразования // Наука, техника и образование – 2016 – №9 (27) – С. 42-44.
 4. Блаттер, К. Вейвлет-анализ. Основы теории / пер. с нем. Т.Э. Кренкеля, под ред. А.Г. Кюркчана. – М.: Техносфера, 2006 – 272 с.
 5. Кретов, Д.А., Рузанов, Р.В. Прогнозирование электропотребления энергосбытовой компании с использованием искусственной нейронной сети // Инженерный вестник Дона – 2015 – №2. ОБГ: indov.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2880.
 6. Trujillo-Romero, F., Jiménez, Jose del Carmen, Lopez, W.G. Predicting Electricity Consumption Using Neural Networks // IEEE Latin America Transactions. – 2011. – Vol. 9, Issue 7. – P. 292-295.
 7. Esfetang, N.N., Kazemzadeh, R. A novel hybrid technique for prediction of electric power generation in wind farms based on WIPSO, neural network and wavelet transform // Energy. – 2018. – Vol. 149. – P. 662-674.
 8. Pu, B., F. Nan, N. Zhu, Y. Yuan and W. Xie, 2021. UFNGBM (1,1): A novel unbiased fractional grey Bernoulli model with Whale Optimization Algorithm and its application to electricity consumption forecasting in China. // Energy Reports, 7: 7405-7423.
 9. Baric, I. R. Grbic and E.K. Nyarko. Short-term forecasting of electricity consumption using artificial neural networks – an overview. 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO. – 2019. – P. 1076-1081.