

УДК 621.391

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПИКОВЫХ ЧАСОВ ЭНЕРГОСБЫТОВЫХ КОМПАНИЙ,
ВХОДЯЩИХ В РЕЕСТР ГАРАНТИРУЮЩИХ ПОСТАВЩИКОВ АО «АТС»**

Саитов С.Р., Карачурин Б.Р., Сидоров М.В.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-1396>, saapel@mail.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Проверить гипотезу корреляции предшествующих пиковых часов энергопотребления и фактического пикового часа в текущие сутки. *МЕТОДЫ.* При решении поставленной задачи применялись методы статистической обработки данных о пиковых часах гарантирующих поставщиков в соответствии с законом распределения случайной дискретной величины. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В статье описана актуальность темы, рассмотрено влияние различных факторов на фактическое значение пикового часа энергопотребления в энергосистеме. Собраны данные о пиковых часах с 2011 по 2022 год с 262 гарантирующих поставщиков из 81 региона Российской Федерации. Проанализировано более 27 тыс. *.xls-таблиц и 530 тыс. пиковых часов. Произведен расчет плотности вероятности каждого часа из временного ряда всех гарантирующих поставщиков на ближайший календарный год. Определена корреляция фактических значений пиковых часов текущих суток со значениями пиковых часов тех же суток за предыдущие 11 лет. Выполнено сравнение точности прогноза между ценовыми зонами ОРЭМ. Оценено влияние географии региона и времени года (по месяцам) на качество прогноза пикового часа. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Корреляция между предшествующими и текущими значениями пиковых часов в среднем по стране составила 40%. Точность прогноза варьируется от 8,7% до 87,3% в зависимости от региона. Взаимосвязь между географией региона, принадлежностью к той или иной ценовой или неценовой зонам ОРЭМ и точностью прогноза не обнаружена. Отмечено влияние сезонных факторов на качество прогноза в ряде регионов РФ.

Ключевые слова: дискретная случайная величина; пиковые часы; плотность вероятности; энергосбыт; гарантирующий поставщик.

Для цитирования: Саитов С.Р., Карачурин Б.Р., Сидоров М.В. Прогнозирование пиковых часов гарантирующих поставщиков, входящих в реестр АО «АТС» // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т.14. № 4 (56). С. 59-68.

**FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION PEAK HOURS OF ENERGY
SUPPLY COMPANY INCLUDED IN THE REGISTRY OF PUBLIC CORPORATION
ATSENERGO**

SR. Saitov, BR. Karachurin, MV. Sidorov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-1396>, saapel@mail.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* To test the hypothesis of correlation between the previous peak hours of energy consumption and the actual peak hour in the current day. *METHODS.* When solving the task, methods of statistical processing of data on peak hours of energy supply companies were used in accordance with the law of distribution of a random discrete variable. *RESULTS.* The article describes the relevance of the topic, considers the influence of various factors on the actual value of the peak hour of energy consumption in the power system. Data on peak hours from 2011 to 2022 from 262 energy supply companies from 81 regions of the Russian Federation were collected. More than 27 thousand *.xls tables and 530 thousand peak hours were analyzed. The probability density of each hour was calculated from the time series

of all energy supply companies for the next calendar year. The correlation of the actual values of the peak hours of the current day with the values of the peak hours of the same day for the previous 11 years was determined. Comparison of the accuracy of the forecast between the price zones of the Wholesale electricity and capacity market was made. The influence of the geography of the region and the season (by months) on the quality of the peak hour forecast was estimated. **CONCLUSION.** The correlation between past and current peak hours was 40% on average across the country. Forecast accuracy varies from 8.7% to 87.3% depending on the region. The relationship between the geography of the region, belonging to one or another price or non-price zones of the Wholesale electricity and capacity market and forecast accuracy was not found. The influence of seasonal factors on the quality of the forecast in a number of regions of the Russian Federation was noted.

Keywords: discrete random variable; peak hours; probability density; energy supply company.

For citation: Saitov SR, Karachurin BR, Sidorov MV. Forecasting electricity consumption peak hours of energy supply company included in the registry of public corporation. KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN. 2022;14(56):59-68.

Введение

Мощность – это готовность генерирующей компании в произвольный момент времени предоставить потребителю требуемый объем электроэнергии. Это второй товар, реализуемый на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ). Цена на мощность формируется ежемесячно в разрезе зон свободного перетока мощности (ЗСП) и состоит из нескольких составляющих [1]. Тарифицируемый объем мощности определяется как среднее из часовых объемов потребления в рабочие дни в часы пикового потребления в регионе (один час в день).

Класс потребителей, относящийся к «прочим потребителям» – все юридические лица, за исключением Сетевых компаний (ПП РФ №1172 от 27.12.2010 в ред. от 23.09.2022) – и рассчитывающийся за электрическую энергию и мощность по III-VI ценовым категориям, имеет возможность сэкономить значительные средства, если будет знать наперед пиковый час своего гарантирующего поставщика. Стоимость мощности в отдельных регионах может достигать до 40% от конечного тарифа [2], поэтому снижение нагрузки в пиковые часы на 10% может привести к снижению платежей на 3%, что весьма существенно. Проблема заключается в том, что пиковые часы публикуются на сайте АО «АТС» по факту, когда информация для потребителя уже не актуальна.

Плановая разгрузка энергоёмкого электрооборудования в пиковые часы замера мощности на 100 кВт способна принести экономию предприятию в размере 70-80 тыс. руб. в месяц (по тарифам на мощность за 2022 год), что свидетельствует о практической значимости работы.

Научная новизна исследования заключается в получении знания о корреляционной связи между предшествующими и будущими пиковыми часами энергопотребления в рамках единой энергетической системой Российской Федерации. Ранее исследователями не предпринимались попытки обнаружения такой связи. Полученные знания позволяют уточнить (конкретизировать) характеристики исследуемого объекта и скорректировать дальнейшее направление исследования.

Литературный обзор

Обзор открытых источников на предмет прогнозирования пиковых часов энергопотребления в регионах Российской Федерации указывает на недостаточную проработанность данной проблемы.

О. Марьясин и А. Лукашов в своей статье [3] для прогнозирования часов пиковой нагрузки предлагают два различных метода. Первый, косвенный метод, основан на прогнозировании на месяц вперед суммарного потребления электроэнергии региона. Второй, прямой метод, основан на непосредственном использовании информации о часах пиковой нагрузки в предыдущие месяцы. Авторы в своём исследовании используют аппарат искусственных нейронных сетей.

Методы, предложенные учеными, хоть и заявляются как прямой и косвенный, в сущности, являются оба косвенными: пиковые часы предыдущих месяцев не могут быть

приняты напрямую за основу для прогнозирования пикового часа текущего месяца. Причины – сильная разница в продолжительности светового дня, средней температуры воздуха, объеме выходных и праздничных дней и т.д. В данном случае видится целесообразным брать за основу пиковые часы текущего месяца предыдущих лет (благо данные [4], публикующиеся на сайте АО «АТС» с 2011 года позволяют получить всю необходимую для анализа информацию).

Data-инженеры В. Журавлёв и Е. Шаповалов компании ООО «Энсersoфт» выпустили готовое решение – программу для краткосрочного прогнозирования значений временного ряда часов максимальной пиковой нагрузки на предстоящие сутки с использованием искусственной нейронной сети [5]. Исходными данными для программы выступают: количество используемых для расчёта моделей из набора ансамбля обученных моделей, порядковый номер месяца, день недели, продолжительность светового дня, средняя часовая температура в каждый час дня прогноза. Выходные данные программы: прогнозные значения потребления территориальной электроэнергетической системы для каждого часа дня прогноза.

К сожалению, в открытом доступе отсутствуют всякие данные об оценке точности прогнозирования предлагаемого продукта. Кроме того, видится проблематичным подавать на вход программы среднюю часовую температуру в каждый час дня прогноза – поскольку она, температура, также заранее неизвестна, как и пиковый час гарантирующего поставщика

Авторы же статей [6-13] находятся лишь на этапе разработки собственной прогнозной модели.

Таблица 1

Формат данных о пиковых часах региона с сайта atsenergo.ru

Участник: АО "Татэнергосбыт"
 Субъект РФ: Республика Татарстан
 Отчетный период: С 01.11.2021 по 30.11.2021
 Код(ы) ГТП: РТАТЕНЕР

Дата	Час максимального совокупного потребления электроэнергии в субъекте Российской Федерации
1	2
01.11.2021	18
02.11.2021	18
03.11.2021	17
08.11.2021	17
09.11.2021	17
10.11.2021	17
11.11.2021	17
12.11.2021	17
15.11.2021	17
16.11.2021	17
17.11.2021	17
18.11.2021	17
19.11.2021	17
22.11.2021	17
23.11.2021	17
24.11.2021	17
25.11.2021	17
26.11.2021	17
29.11.2021	16
30.11.2021	16

Материалы и методы

В настоящей работе прогнозирование пиковых часов текущего месяца осуществлялось на основании известных часов того же месяца за предыдущие годы.

Источником материала выступил сайт АО «АТС» [4], на котором необходимые данные публикуются в формате *.xls. Содержание одного из таких файлов приведено в таблице 1.

Перечень из 262 энергосбытовых компаний, участвующих в исследовании, был составлен на основании реестра гарантирующих поставщиков [14].

Рассматриваемый временной интервал: ноябрь 2011 года – октябрь 2022 года (на момент подготовки статьи данные за ноябрь 2022 года ещё не были опубликованы).

Всего было выгружено более 27 тыс. файлов по 81 региону Российской Федерации. Из-за отсутствия технологической связи с единой энергетической системой России (ЕЭС РФ) в выборку не попали: Камчатский край, Магаданская и Сахалинская области, Ненецкий и Чукотский автономные округа.

Искомый пиковый час принимает целочисленное значение в диапазоне от 0 до 23, поэтому он рассматривался как случайная дискретная величина [15].

Поскольку возникновение каждого часа в указанном диапазоне не является равновероятным событием (пик энергопотребления чаще всего фиксируются в утреннее и вечернее время) характер распределения пикового часа во временном ряду наилучшим образом описывается законом распределения дискретной случайной величины (таблица 2).

Таблица 2

Ряд распределения дискретной случайной величины

Значение	x_0	x_1	...	x_n
Вероятность $p_i = x_i / X$	p_0	p_1	...	p_n

События $X = x_i$ ($i = 0, 1, \dots, n = 23$) являются несовместимыми и единственно возможными: они образуют полную систему событий. Поэтому сумма их вероятностей равна единице:

$$p_0 + p_1 + \dots + p_n = \sum_{i=0}^{n=23} p_i = 1.$$

Согласно гипотезе, сформулированной в данной работе, прогнозируемым часом окажется то событие (x_i), которое обладает наибольшей плотностью вероятности (p_i).

Для проверки этой гипотезы осуществлялась статистическая обработка генеральной совокупности данных (более 530 тыс. пиковых часов) в соответствии с законом распределения случайной дискретной величины.

Пример такого распределения на ноябрьском интервале для гарантирующего поставщика Татарстана – АО «Татэнергосбыт» представлен в таблицах 3 и 4.

Точность прогноза оценивалась по соотношению совпавших планируемых и фактических пиковых часов (столбцы «факт» и «план», таблица 3) к общему количеству рабочих дней в тестируемой выборке (2021 и 2022 годы).

По аналогии были рассчитаны пиковые часы для оставшихся 80 регионов Российской Федерации. Также была произведена оценка точности прогноза для этих субъектов.

Результаты и их обсуждение

Исследование показало, что точность прогноза предлагаемой методики в среднем по России как в 2021, так и в 2022 году составила приблизительно 40% (рис. 1).

При этом результаты оказались очень неоднородными. На точность не влияли ни география, ни принадлежность к той или иной ценовой или неценовой зонам.

Полученные результаты, на первый взгляд, могут показаться неудовлетворительными. Действительно, точность в ряде регионов оказалась на уровне статистической погрешности. Например, для Липецкой области точность прогноза составила всего 8,7%. И хотя в некоторые дни плотность вероятности отдельных часов достигала более 80%, пиковыми становились совсем другие значения.

Таблица 3

Генеральная совокупность ноябрьских пиковых часов АО «Татэнергосбыт»

ВЫХОДНЫЕ Сутки											факт	план	Прогноз
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021	
1 ноя	18	18	19	-	-	18	18	18	11	-	18	18	True
2 ноя	18	11	-	-	17	17	18	11	-	18	18	18	True

3 ноя	11	-	-	-	18	18	10	-	-	11	17	11	False
4 ноя	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5 ноя	-	-	19	18	18	-	-	-	10	17	-	-	
6 ноя	-	18	19	18	18	-	-	18	18	17	-	-	
7 ноя	19	11	19	17	-	17	17	10	18	-	-	-	
8 ноя	10	10	18	-	-	17	17	10	11	-	17	10	False
9 ноя	18	11	-	-	17	17	17	17	-	17	17	17	True
10 ноя	18	-	-	17	17	18	17	-	-	17	17	17	True
11 ноя	10	-	10	17	17	17	-	-	17	17	17	17	True
12 ноя	-	10	10	17	17	-	-	18	17	17	17	17	True
13 ноя	-	10	18	17	17	-	17	10	17	17	-	-	
14 ноя	18	18	18	17	-	18	17	10	11	-	-	-	
15 ноя	11	18	18	-	-	17	17	17	17	18	-	17	True
16 ноя	18	18	-	-	17	17	17	17	-	10	17	17	True
17 ноя	18	-	-	17	17	17	18	-	-	10	17	17	True
18 ноя	18	-	18	17	17	17	-	-	16	10	17	17	True
19 ноя	-	18	9	17	17	-	-	17	18	17	17	17	True
20 ноя	-	10	18	17	17	-	11	17	17	17	-	-	
21 ноя	18	18	18	17	-	17	17	17	10	-	-	-	
22 ноя	10	18	10	-	-	17	17	17	17	-	17	17	True
23 ноя	18	11	-	-	17	17	17	17	-	16	17	17	True
24 ноя	11	-	-	17	17	18	17	-	-	17	17	17	True
25 ноя	10	-	18	17	17	17	-	-	11	17	17	17	True
26 ноя	-	11	18	17	17	-	-	10	10	17	17	17	True
27 ноя	-	18	18	17	17	-	17	16	17	10	-	-	
28 ноя	10	18	18	17	-	17	17	17	17	-	-	-	
29 ноя	10	18	10	-	-	17	17	17	17	-	16	17	False
30 ноя	18	18	-	-	17	17	16	17	-	17	16	17	False

Таблица 4

Плотность распределения пикового часа во временном ряду в Татарстане

Сутки	0	1	...	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	value	Max p_i	
1 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0,71	0,14	0	0	0	0	0	18	71,4%
2 ноя	0	0	...	0	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0,29	0,43	0	0	0	0	0	0	18	42,9%
3 ноя	0	0	...	0	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	11	40,0%
5 ноя	0	0	...	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0	0	0	0	0	18	40,0%
6 ноя	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,71	0,14	0	0	0	0	0	18	71,4%
7 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,38	0,13	0,25	0	0	0	0	0	17	37,5%
8 ноя	0	0	...	0	0	0,43	0,14	0	0	0	0	0	0,29	0,14	0	0	0	0	0	0	10	42,9%
9 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,71	0,14	0	0	0	0	0	0	17	71,4%
10 ноя	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0,33	0	0	0	0	0	0	17	66,7%
11 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,71	0	0	0	0	0	0	0	17	71,4%
12 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
13 ноя	0	0	...	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0,63	0,13	0	0	0	0	0	0	17	62,5%
14 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,25	0,5	0	0	0	0	0	0	18	50,0%
15 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,43	0,43	0	0	0	0	0	0	17	42,9%
16 ноя	0	0	...	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0,57	0,29	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
17 ноя	0	0	...	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0,5	0,33	0	0	0	0	0	0	17	50,0%
18 ноя	0	0	...	0	0	0,14	0	0	0	0	0	0,14	0,43	0,29	0	0	0	0	0	0	17	42,9%
19 ноя	0	0	...	0	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0,57	0,29	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
20 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0,13	0	0	0	0	0	0,63	0,13	0	0	0	0	0	0	17	62,5%
21 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,5	0,38	0	0	0	0	0	0	17	50,0%
22 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
23 ноя	0	0	...	0	0	0	0,14	0	0	0	0	0,14	0,57	0,14	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
24 ноя	0	0	...	0	0	0	0,17	0	0	0	0	0	0,67	0,17	0	0	0	0	0	0	17	66,7%
25 ноя	0	0	...	0	0	0,14	0,14	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
26 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0,14	0	0	0	0	0	0,43	0,14	0	0	0	0	0	0	17	42,9%
27 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0,13	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0	17	50,0%
28 ноя	0	0	...	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0,63	0,25	0	0	0	0	0	0	17	62,5%
29 ноя	0	0	...	0	0	0,29	0	0	0	0	0	0	0,57	0,14	0	0	0	0	0	0	17	57,1%
30 ноя	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,57	0,29	0	0	0	0	0	0	17	57,1%

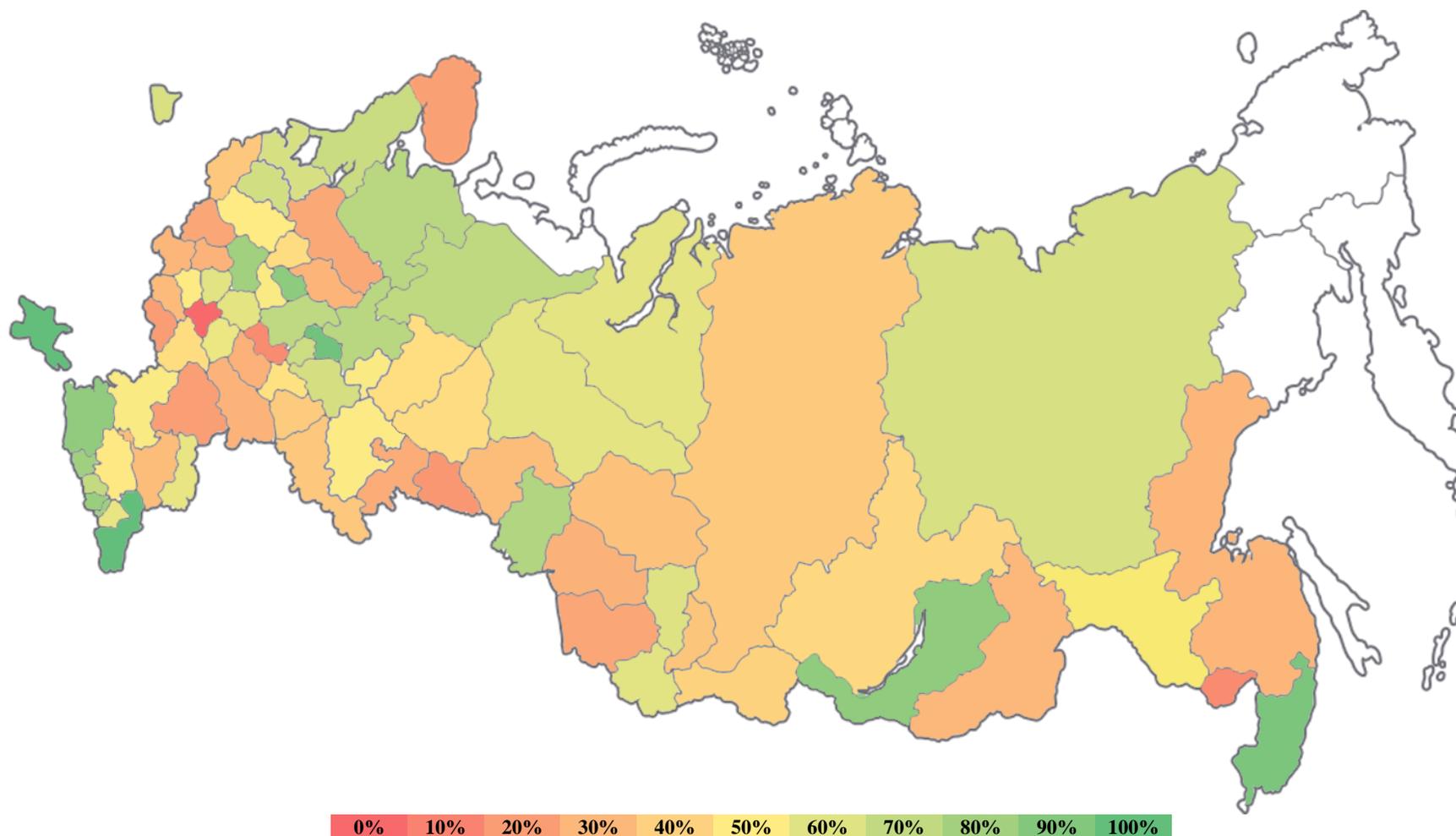


Рис. 1. Точность прогноза для ценовых и неценовых зон ОРЭМ (2021 г.)

Таблица 5

Влияние сезонного фактора на качество прогноза (часть 1)

Субъект РФ	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Омская область	53,3%	68,4%	68,2%	68,2%	94,7%	38,1%	31,8%	31,8%	72,7%	47,6%	35,0%	40,9%
Республика Бурятия	100,0%	36,8%	31,8%	50,0%	63,2%	26,3%	27,3%	36,4%	72,7%	85,7%	100,0%	100,0%
Кемеровская область	93,3%	21,1%	59,1%	14,3%	16,7%	21,1%	44,4%	14,3%	54,5%	38,1%	80,0%	81,8%
Московская область	53,3%	68,4%	77,3%	40,9%	42,1%	38,1%	36,4%	36,4%	72,7%	81,0%	70,0%	72,7%
Нижегородская область	53,3%	89,5%	81,8%	72,7%	31,6%	38,1%	13,6%	18,2%	63,6%	66,7%	40,0%	50,0%
Краснодарский край	66,7%	36,8%	47,6%	77,3%	89,5%	42,9%	42,9%	31,8%	68,2%	76,2%	75,0%	77,3%
Кировская область	46,7%	89,5%	63,6%	54,5%	52,6%	61,9%	9,1%	31,8%	45,5%	57,1%	55,0%	63,6%
Карачаево-Черкесская Респ.	86,7%	63,2%	81,8%	68,2%	84,2%	35,0%	22,7%	36,4%	68,2%	57,1%	65,0%	22,7%
Кабардино-Балкарская Респ.	60,0%	47,4%	90,9%	36,4%	68,4%	33,3%	9,1%	9,1%	68,2%	66,7%	60,0%	54,5%
Ивановская область	93,3%	89,5%	52,4%	54,5%	68,4%	52,4%	59,1%	45,5%	59,1%	57,1%	75,0%	31,8%
Рязанская область	33,3%	52,6%	31,8%	40,0%	27,8%	28,6%	27,3%	28,6%	45,5%	71,4%	85,0%	54,5%
Ростовская область	53,3%	42,1%	14,3%	31,8%	57,9%	23,8%	31,8%	33,3%	40,9%	42,9%	55,0%	45,5%
Республика Татарстан	53,3%	68,4%	61,9%	63,6%	31,6%	23,8%	31,8%	31,8%	47,6%	33,3%	80,0%	40,9%
Северная Осетия-Алания	86,7%	63,2%	90,9%	45,5%	84,2%	57,1%	40,9%	22,7%	77,3%	47,6%	40,0%	50,0%
Республика Марий Эл	60,0%	78,9%	68,2%	86,4%	94,7%	57,1%	40,9%	40,9%	95,5%	81,0%	50,0%	54,5%
Республика Карелия	73,3%	63,2%	54,5%	47,6%	29,4%	5,9%	28,6%	31,6%	45,5%	76,2%	70,0%	63,6%

Таблица 6

Влияние сезонного фактора на качество прогноза (часть 2)

Субъект РФ	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Архангельская область	50,0%	63,2%	66,7%	63,6%	63,2%	38,1%	68,2%	59,1%	59,1%	23,8%	50,0%	27,3%
Калининградская область	73,3%	15,8%	42,9%	0,0%	52,9%	76,2%	54,5%	50,0%	27,3%	81,0%	55,0%	27,3%
Новгородская область	40,0%	42,1%	33,3%	27,3%	36,8%	71,4%	71,4%	59,1%	50,0%	47,6%	50,0%	40,9%
Республика Ингушетия	33,3%	57,9%	50,0%	77,3%	100,0%	95,2%	95,5%	68,2%	31,8%	28,6%	35,0%	22,7%
Республика Дагестан	53,3%	68,4%	36,4%	59,1%	89,5%	100,0%	95,5%	72,7%	72,7%	90,5%	20,0%	81,8%
Чеченская Республика	6,7%	5,3%	45,5%	54,5%	100,0%	85,7%	86,4%	50,0%	31,8%	19,0%	15,0%	13,6%
Ставропольский край	46,7%	42,1%	4,5%	9,1%	21,1%	14,3%	59,1%	68,2%	40,9%	52,4%	40,0%	54,5%
Приморский край	46,7%	27,8%	81,8%	27,3%	84,2%	81,0%	72,7%	59,1%	90,9%	81,0%	90,0%	40,9%
Республика Крым	80,0%	66,7%	77,8%	100,0%	100,0%	94,7%	83,3%	100,0%	90,5%	90,0%	83,3%	81,8%

Однако если провести оценку отдельно по месяцам, то результат становится более оптимистичным: в ряде регионов в интервалах с января по май и с сентября по декабрь модель обладает удовлетворительной точностью (таблица 5).

И, напротив – в отдельных регионах высокая точность наблюдается в летнее время, в то время как зимой качество прогноза существенно падает (таблица 6).

Выводы

На основе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Прогнозы на основании только лишь пиковых часов текущих суток предыдущих лет дают сомнительный результат. Точность такого прогноза в среднем по стране составила 39,4%.
2. Корреляция между ценовыми зонами и качеством прогноза не обнаружена.
3. Разница в точности прогноза между ценовой (38,7%) и неценовой (43,1%) зонами не существенная.
4. В ряде регионов прослеживается прямая зависимость между предсказуемостью пиковых часов и сезонными условиями.
5. Повышение точности прогноза возможно за счёт использования дополнительных косвенных признаков: значение пикового часа непосредственно перед датой прогнозирования, метеорологических условий, динамики энергопотребления в регионе и т.д.
6. Для работы с дополнительным объемом статистических данных, оказывающих сложное влияние на прогнозируемое значение, потребуется использование искусственных нейронных сетей.

Литература

1. Цена электроэнергии для предприятий // Сайт компании Энкост [Электронный ресурс] <https://encost.com/publikacii/cena-elektroenergii-dlya-predpriyatij/> (Дата обращения: 20.11.2022)
2. Составляющие предельных уровней нерегулируемых цен // Сайт компании АО «АТС» [Электронный ресурс] <https://www.atsenergo.ru/results/market/svnc> (Дата обращения: 20.11.2022)
3. Марьясин О.Ю., Лукашов А.И. Прогнозирование часов пиковой нагрузки региона России // Нейроинформатика-2021: Сборник научных трудов XXIII Международной научно-технической конференции, Москва. 2021. С. 227-236.
4. Часы пиковой нагрузки // Сайт компании АО «АТС». [Электронный ресурс] <https://www.atsenergo.ru/results/market/calcfacthour> (Дата обращения: 20.11.2022)
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021617818 Российская Федерация. Программа для краткосрочного прогнозирования значений временного ряда часов максимальной пиковой нагрузки: № 2021616690; заявл. 29.04.2021; опублик. 19.05.2021 / В.С. Журавлев, Е.А. Шаповалов; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Энсersoфт».
6. Межгорин Д., Петкилев А.А. Разработка нейросетевой системы для прогнозирования часа пиковой нагрузки потребления электроэнергии на основе ретроспективных данных // От зеленого кампуса – к зеленому городу. Пенза: Пензенский государственный университет, 2022. С. 153-160.
7. Chichirova N.D., Chichirov A.A., Saitov S.R. Atomic force microscopy and IR spectrometry application in detecting the type and nature of contaminants on reverse osmosis membrane elements // Earth and Environ. Sci. 288 (2019) 012007.
8. Saitov S.R., Chichirova N.D. Investigation of the composition and causes of membrane fouling of reverse osmosis // E3S Web of Conf. 216 (2020) 01072.
9. Филимонова А.А., Чичирова Н.Д., Сайтов С.Р. и др. Недостатки баромембранных методов водоподготовки и способы их устранения в мировой практике // Вестник МЭИ. 2020. № 4. С. 98-112.
10. Chichirova N.D., Chichirov A.A., Filimonova A.A., Saitov S.R. Enhancing the Ecological and Operational Characteristics of Water Treatment Units at TPPs Based on Baromembrane Technologies // Thermal Engineering. 2017. №12(64). С. 920-930.
11. Chichirova N.D., Chichirov A.A., Saitov S.R. Problems of reliability and economy work of thermal power plants water treatment based on baromembrane technologies // Journal of Physics: Conf. Series 891 (2017) 012276.
12. Сайтов С.Р., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А. Баромембранные технологии в схеме водоподготовки Уфимской ТЭЦ-1 // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. №2(34). С. 58-67.

13. Патент № 2753350 С1 Российская Федерация, МПК C02F 1/44, C02F 1/52, C02F 9/04. Способ ведения водно-химического режима и регенерации баромембранной водоподготовительной установки с применением унифицированной коррекционно-отмывочной композиции: № 2020132208: заявл. 30.09.2020: опубл. 13.08.2021 / Саитов С.Р., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет".

14. Федеральный информационный реестр гарантирующих поставщиков и зон их деятельности // Сайт Федеральной антимонопольной службы. [Электронный ресурс] <https://fas.gov.ru/pages/activity/tariffregulation/federalnyij-informacziornyij-reestr-garantiruyushhix-postavshhikov-i-zon-ix-deyatelnosti.html> (Дата обращения: 20.11.2022)

15. Central limit theorem // Интернет-энциклопедия Wikipedia [Электронный ресурс] https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution (Дата обращения: 20.11.2022)

Авторы публикации

Саитов Станислав Радикович – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Атомные и тепловые электрические станции», Казанский государственный энергетический университет.

Карачурин Булат Рамилевич – студент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения», Казанский государственный энергетический университет.

Сидоров Михаил Валерьевич – студент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения», Казанский государственный энергетический университет.

References

1. The price of electricity for enterprises. Encost company website [Electronic resource] <https://encost.com/publikacii/cena-elektroenergii-dlya-predpriyatij/> (Date of access: 11/20/2022)

2. Components of the marginal levels of unregulated prices. *Website of the public corporation "ATSENERGO"* [Electronic resource] <https://www.atsenergo.ru/results/market/svnc> (Date of access: 20.11.2022)

3. Maryasin O.Yu., Lukashov A.I. Forecasting peak hours in a Russian region *Neuroinformatics-2021: Collection of scientific papers of the XXIII International Scientific and Technical Conference*, Moscow. 2021;227-236.

4. Peak load hours. *Website of the public corporation «ATSENERGO»* [Electronic resource] <https://www.atsenergo.ru/results/market/calcfacthour> (Date of access: 20.11.2022)

5. Zhuravlev VS, Shapovalov EA *Certificate of state registration of the computer program № 2021617818 Russian Federation. Program for short-term forecasting of the values of the time series of hours of maximum peak load: № 2021616690: Appl. 04/29/2021: publ. May 19, 2021; applicant Limited Liability Company «Ensersoft».*

6. Mezghorin D, Petkilev AA. Development of a neural network system for predicting the peak hour of electricity consumption based on retrospective data. *From a green campus to a green city*. Penza: Penza State University, 2022;153-160.

7. Chichirova ND, Chichirov AA, Saitov SR. Atomic force microscopy and IR spectrometry application in detecting the type and nature of contaminants on reverse osmosis membrane elements. *Earth and Environ. Sci.*, 2019;288: 012007. doi: 10.1088/1755-1315/288/1/012007

8. Saitov SR, Chichirova ND. Investigation of the composition and causes of membrane fouling of reverse osmosis. *E3S Web of Conf*; 2020;216: 01072. doi: 10.1051/e3sconf/202021601072

9. Filimonova AA, Chichirova ND, Saitov SR. The drawbacks of baromembrane water treatment technologies and methods used around the world for eliminating them. *Bulletin of MPEI*, 2020;4:98-112. doi: 10.24160/1993-6982-2020-4-98-112

10. Chichirova ND, Chichirov AA, Filimonova AA, Saitov SR. Enhancing the Ecological and Operational Characteristics of Water Treatment Units at TPPs Based on Baromembrane Technologies. *Thermal Engineering*. 2017;12(64): 920-930.

11. Chichirova ND, Chichirov AA, Saitov SR. Problems of reliability and economy work of thermal power plants water treatment based on baromembrane technologies. *Journal of Physics: Conf. Series*, 2017;891:012276. doi 10.1088/1742-6596/891/1/012276

12. Saitov SR, Chichirova ND, Chichirov AA. Baromembrane technologies in the water treatment scheme of the Ufimskaya CHPP-1. *Bulletin of the Kazan State Power Engineering University*. 2017;2(34):58-67.

13. Saitov SR, Chichirova ND, Chichirov AA. Patent № 2753350 C1 Russian Federation, IPC C02F 1/44, C02F 1/52, C02F 9/04. *A method for maintaining a water-chemical regime and regenerating a baromembrane water treatment plant using a unified correction and cleaning composition*: № 2020132208: Appl. 09/30/2020: publ. 08/13/2021.; applicant Kazan State Power Engineering University.

14. Federal information register of energy supply company and areas of their activities. Website of the Federal Antimonopoly Service of Russian Federation [Electronic resource] <https://fas.gov.ru/pages/activity/tariffregulation/federalnyj-informacionnyj-reestr-garantiruyushhix-postavshhikov-i-zon-ix-deyatelnosti.html> (Date of access: 11/20/2022)

15. Central limit theorem. *Wikipedia internet encyclopedia* [Electronic resource] https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution (Date of access: 11/20/2022)

Authors of the publication

Stanislav R. Saitov – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department «Nuclear and Thermal Power Plants» of Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Bulat R. Karachurin – student of the department «Industrial heat power engineering and heat supply systems», Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Mikhail V. Sidorov – student of the department «Industrial heat power engineering and heat supply systems», Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Получено

21.11.2022г.

Отредактировано

23.11.2022г.

Принято

26.11.2022г.