

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КОММЕРЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

А.В. Блохин

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: sasha_bloh@mail.ru

А.С. Грицай

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

А.Ю. Горшенин

аспирант, ассистент кафедры «Информатика и вычислительная техника»,
e-mail: augomgtu@gmail.com

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

Аннотация. Данная работа посвящена важному вопросу, который касается анализа поведения отдельного участника электроэнергетической системы с целью дальнейшего прогнозирования этого поведения. Для этого были использованы данные почасового потребления электроэнергии торгового центра. Помимо них дополнительно использовались наборы данных температуры окружающей среды и времени. Проведённый анализ в дальнейшем будет использован в построении модели прогнозирования потребления электрической энергии отдельным объектом энергосистемы для улучшения взаимодействия между потребителем и поставщиком электрической энергии.

Ключевые слова: анализ данных, электрическая энергия, потребитель и поставщик электрической энергии, прогнозирование данных, метеоданные, время.

Введение

В наши дни немаловажную роль в обеспечении надёжной и эффективной работы энергетической системы играет прогнозирование поведения различных участников этой системы. Прогнозирование потребления электроэнергии влияет на эффективность распределения выработки и последующего сбыта электрической энергии между различными участниками единой энергосистемы. Помимо этого, становится возможной оптимизация текущих и предстоящих режимов работы источников, генерирующих электрическую энергию и поддержка мощностного баланса в энергосистеме. Также данные прогнозы оказывают высокое влияние на обеспечение надёжной и отказоустойчивой подачи электроэнергии потребителям, модернизации существующей и развитие новой

энергетической инфраструктуры. Однако прогнозирование может быть полезно не только с технической точки зрения, но и с экономической. К примеру, с его помощью становится возможным повышение экономической обоснованности операций продажи и покупки электроэнергии на рынке [1,2].

За последние 50 лет электропотребление в мире увеличилось в более чем 2 раза. При этом основной процент электропотребления от всей сети занимают промышленные предприятия и нежилые объекты. В связи с этим имеет высокое значение решение проблемы энергоэффективности. Решения данной проблемы состоит в построении точного прогноза потребления электроэнергии для отдельных субъектов оптового рынка электроэнергии. Для оптимизации потребления данных предприятий и разработки стратегии эффективного потребления, необходимы инструменты точного прогноза, которые будут учитывать временные и метеорологические факторы [3]. В настоящее время в Российской Федерации действует рынок по оптовой продаже электроэнергии и мощности, который поделён на ценовые зоны. В каждой такой ценовой зоне функционируют различные типы электростанций, такие как гидроэлектростанции, угольные тепловые электростанции, атомные, а также альтернативные – солнечные и ветреные электростанции. Системный оператор формирует заявки на генерации. Электрической энергии по часовым интервалам суток [4,6]. Особое значение представляет точной почасовой заявки на потребление электроэнергии принимает в современных рыночных условиях. Грамотное решение этой задачи позволяет сократить финансовые издержки, обусловленные отклонением фактического уровня энергопотребления от заявленного ранее. Таким образом, более высокая точность заявки приводит к снижению переплаты за отклонения и, в итоге, снижает затраты на электроэнергию [7]-[10].

Исследование направлено на выявление зависимостей между потреблением электрической энергии объектом электроэнергетической системы и временными и метеорологическими факторами. Под электроэнергетической системой понимается единая электроэнергетическая сеть с подключенными к ней как традиционными источниками энергии (парогазовые установки, теплоэнергоцентрали (ТЭЦ), атомные электростанции) так и альтернативными источниками энергии (в частности, солнечными электростанциями, ветренными электростанциями), работающими в условиях рынка по оптовой продаже электроэнергии и мощности, на которые действуют различные факторы, такие как, температура окружающего воздуха и различные временные промежутки в сутках [11].

1. Постановка задачи

Обеспечение энергетической безопасности страны является важнейшей задачей, достижение которой невозможно без широкого внедрения цифровых средств обработки данных и искусственного интеллекта. В качестве одних из приоритетных направлений развития электроэнергетической отрасли России рассматриваются повышение энергосбережения и энергоэффективности. При достижении указанных характеристик необходимо одновременное обеспечение экономической и коммерческой обоснованности при учёте дефицита

маневренных мощностей. Необходимость прогнозирования и управления режимами электропотребления в промышленности обусловлена ростом электрических нагрузок в условиях дефицита активной мощности в электросетях России. Неуклонный рост удельных показателей затрат энергии на производство единицы продукции приводит к увеличению затрат на производство, что неизбежно отражается на конечной цене продукта [12].

Можно отметить, что в настоящее время имеет место широкое привлечение службами энергоменеджмента цифрового формата для решения задач внутреннего учёта, аудита и потребления энергоресурсов. Из обзора научных публикаций следует, что далеко не все задачи по эффективному управлению энергопотреблением на предприятиях нашли успешное решение [1].

Анализ приведенных материалов показывает, что в качестве важнейшего ресурса в деле повышения эффективности управления энергопотреблением можно рассматривать прогнозирование объемов потребления электрической энергии на конкретном промышленном предприятии [3]. Для того, чтобы говорить о какой-либо модели прогнозирования для конкретного предприятия, изначально стоит провести анализ исходных данных. Сам анализ и его результаты будут описаны в этой работе далее.

2. Теория и эксперименты

В качестве исходных данных авторами были взяты доступные в сети Интернет данные о потреблении электроэнергии гипермаркетом. Данные были предоставлены системным оператором региона Новая Англия, США [3,5].

Полученные данные, состоят из 8784 записи, включающие в себя:

- почасовое потребление электроэнергии (МВт/ч) за 2016 год, полученное с помощью интеллектуального прибора учёта;
- исторические почасовые метеорологические данные о температуре окружающего воздуха ($^{\circ}C$) за 2016 год, полученные с помощью метеорологических датчиков специализированного института.

Для выявления зависимости электропотребления предприятия от временных интервалов в сутках и от температуры окружающей среды были проведения исследования, включающие в себя два этапа, а именно:

- рассмотрение почасового суточного электропотребления за неделю в летний период времени с учётом температуры окружающей среды;
- рассмотрение почасового суточного электропотребления в летний период времени с учётом температуры окружающей среды [3].

На первом этапе для анализа рассматривались данные электропотребления на 7 суток в зимний период (февраль 2016 года) и температура в эти же сутки и по этим же временным интервалам, которые представлены в таблице 1 на рис. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. Временные ряды потребления и температуры за одну неделю зимой

Day	Monday		Tuesday		...	Saturday		Sunday	
Hour	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	...	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)
1	0,342	6,30	0,366	12,60	...	0,320	3,30	0,278	-1,40
2	0,351	7,10	0,386	10,50	...	0,324	2,10	0,300	-0,40
3	0,344	7,20	0,374	10,40	...	0,311	1,40	0,281	0,20
4	0,345	5,70	0,357	8,80	...	0,329	2,10	0,278	0,50
5	0,336	4,30	0,357	7,70	...	0,308	1,60	0,278	1,00

20	0,759	15,90	0,716	13,10	...	0,789	5,70	0,692	6,50
21	0,726	11,10	0,702	13,40	...	0,749	2,80	0,618	6,60
22	0,581	10,00	0,584	12,30	...	0,598	0,70	0,559	4,40
23	0,417	8,50	0,406	11,40	...	0,371	-0,70	0,410	4,90
24	0,373	14,00	0,333	10,60	...	0,283	-1,00	0,321	5,10

Из рис. 1 можно наблюдать временные ряды электропотребления на которых видно, что возрастание потребления электроэнергии происходит с 05:00 и остаётся на высоком уровне до 19:00. Из этого можно сделать вывод что именно этот временной промежуток играет важную роль в суточном потреблении электроэнергии.

На рис. 2 наблюдаем временные ряды изменения температуры по часам в сутках. Как видно повышение температуры происходит в промежутке между 05:00 и 09:00 в сторону увеличения, а в промежутке между 17:00 и 20:00 в сторону уменьшения. На втором этапе для анализа рассматривались данные электропотребления на 7 суток в летний период (июль 2016 года) и температура в эти же сутки и по этим же временным интервалам, которые представлены в таблице 2 на рис. 3 и 4 соответственно.

На рис. 3 можно наблюдать временные ряды электропотребления в сутки летом, на которых видно, что возрастание потребления электроэнергии происходит с 06:00 и остаётся на высоком уровне до 15:00 и потом снижается. По сравнению с наблюдениями в зимний период временной интервал возрастания электропотребления сдвинулся, что говорит о влиянии часов в сутках на потребление электроэнергии. На рис. 4 представлены временные ряды температуры по часам в сутках летом. Из представленных графиков видно, что увеличение температуры окружающего воздуха происходит на интервале с 06:00

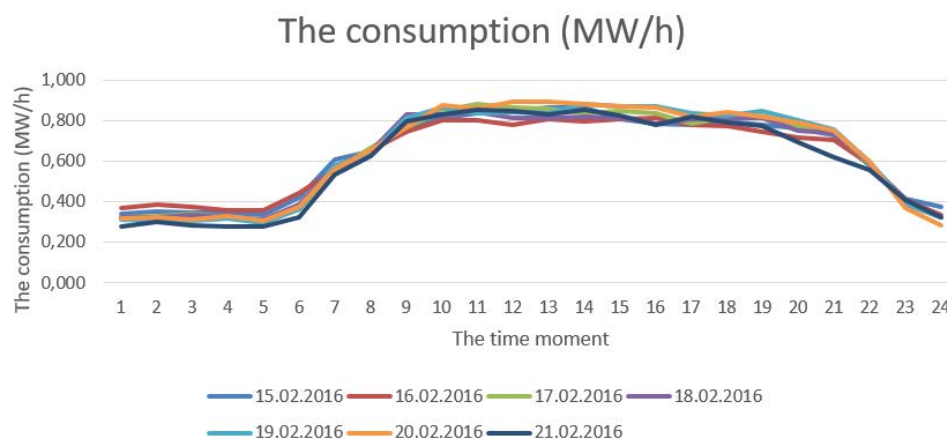


Рис. 1. Временной ряд электропотребления за одну неделю (с 15.02.2016 по 21.02.2016)

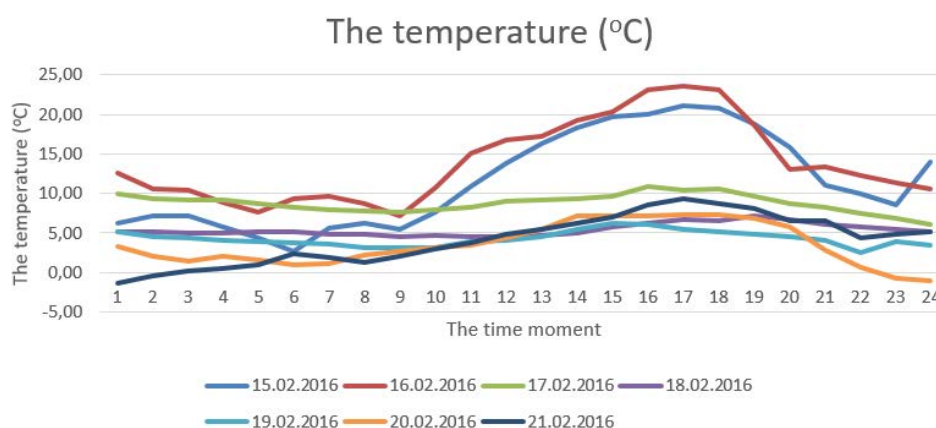


Рис. 2. Временной ряд температуры окружающей среды за одну неделю (с 15.02.2016 по 21.02.2016)

до 08:00, далее остаётся довольно высокой до 20:00, далее температура стремительно понижается.

После определения параметров, влияющих на потребление электроэнергии, были коэффициенты корреляции между параметрами и сами электропотребление, которые представлены в таблице 3. В приведённой таблице видно, что значения весов параметров «Hour of day» and «Temperature» примерно равны, что говорит об их одинаковом влиянии на количество потребления электроэнергии.

Заключение

В представленной работе была изложена актуальность направления исследований авторов. Проведён первичный анализ набора данных о потреблении электроэнергии гипермаркетом за 2016 год. Данные были представлены в ви-

Таблица 2. Временные ряды потребления и температуры за одну неделю летом

Day	Monday		Tuesday		...	Saturday		Sunday	
Hour	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	...	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)	Consumption (MW/h)	Temperature (°C)
1	0,373	18,10	0,395	16,50	...	0,437	23,70	0,450	25,40
2	0,345	15,40	0,375	15,80	...	0,435	23,00	0,441	21,90
3	0,355	14,50	0,392	16,20	...	0,437	22,80	0,476	20,50
4	0,336	13,80	0,389	15,90	...	0,415	22,20	0,474	20,80
5	0,325	14,40	0,345	15,00	...	0,413	21,90	0,448	18,60

20	0,949	29,80	0,955	30,50	...	1,112	30,90	0,987	28,50
21	0,896	29,00	0,927	30,00	...	1,027	29,60	0,887	27,50
22	0,711	25,20	0,748	26,80	...	0,859	28,00	0,719	25,40
23	0,491	19,30	0,528	20,20	...	0,611	26,90	0,536	23,00
24	0,412	17,40	0,472	23,70	...	0,489	25,30	0,455	21,50

де почасовой записи показаний прибора учёта потребления электроэнергии. Помимо этого, были использованы почасовые исторические метеорологические данные о температуре окружающего воздуха в это же время.

Результатом представленной работы является выявление факторов, влияющих на электропотребление объекта энергосистемы и расчёт весов их корреляции друг с другом. Данные результаты будут полезны для проведения дальнейшего исследования, а именно построение модели прогнозирования потребления электроэнергии с учётом влияния временного и метеорологического факторов. Рассмотрение интеллектуальных методов прогнозирования временных рядов и построение модели прогнозирования потребления электрической энергии объектом оптового рынка электроэнергии является следующим этапом исследований авторов. Результаты данных исследований будут представлены в научных публикациях позже.

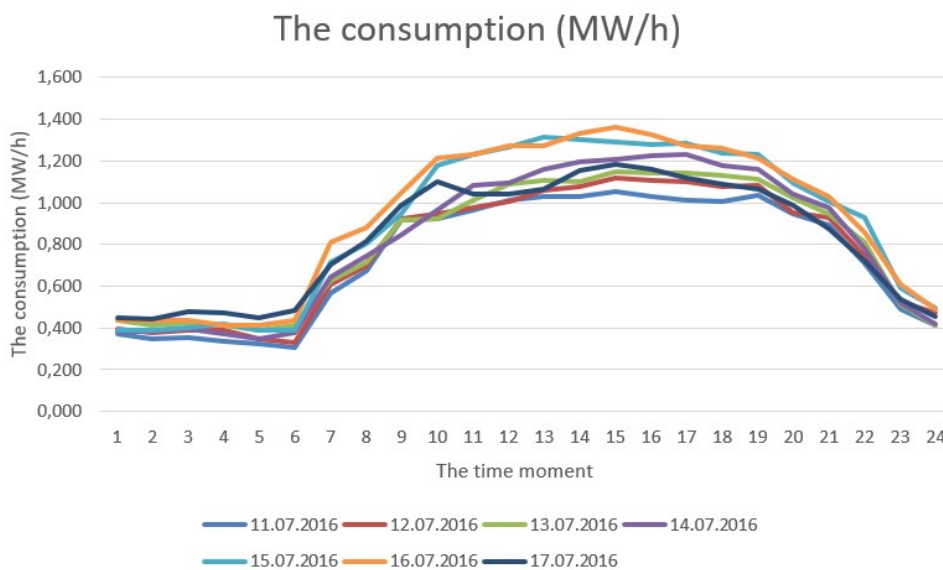


Рис. 3. Временной ряд электропотребления за одну неделю (с 11.07.2016 по 17.07.2016)

Таблица 3. Корреляция

Атрибут	Электропотребление	Час в сутках	Температура воздуха
Электропотребление	1	0,411	0,434
Час в сутках	0,411	1	0,198
Температура воздуха	0,434	0,198	1

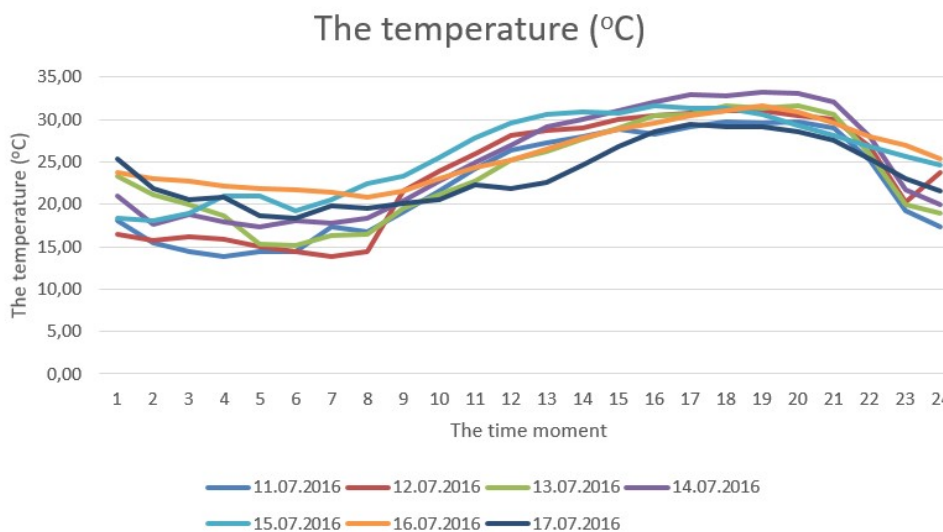


Рис. 4. Временной ряд температуры окружающей среды за одну неделю (с 11.07.2016 по 17.07.2016)

ЛИТЕРАТУРА

1. Kendall M.J., Stewart A. Multivariate statistical analysis and time ranks. Moscow : Nauka, 2006. 736 p.
2. Oskin S.P., Nikiforov D.S., Nesterova M.E. Forecasting the volume of electricity consumption in an industrial enterprise using the methods of statistical analysis. Warsaw : Colloquium-journal, 2019. V. 25–2, No. 49. P. 80–83.
3. Pitjan A., Oprea S., Carutasu G., Petrosanu D., Bara A. Coculescu C. Devising Hourly Forecasting Solutions Regarding Electricity Consumption in the Case of Commercial Center Type Consumers. Romania : Energies, 2017. V. 10. P. 36.
4. Khamitov R.N., Gritsai A.S., Tyunkov D.A., Dugin D.D., Sinitsin G.E. 2017 On the method for constructing a training sample in the problems of short-term prediction of electric consumption taking into account the criteria of information and compactness // Industrial Energy. 2017. V. 8. P. 23–28.
5. Gritsai A.S., Makarov V.V., Khamitov R.N., Tatevosyan A.A., Gritsai S.N. The method of short-term forecast electricity load with combined a sinusoidal function and an artificial neural network // Proceedings of the 2019 IEEE Conf. of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. 2019. P. 523–526.
6. Tyunkov D.A., Gritsai A.S., Rodionov V.S., Sapilova A.A., Blokhin A.V. Paltseva N.A. A neural network model for short-term PV — energy forecasting // Journal of Physics: Conf. Series. 2020. V. 1546.
7. Tyunkov D.A., Gritsai A.S., Potapov V.I., Khamitov R.N., Blohin A.V., Kondratukova L.K. Short-term forecast methods of electricity generation by solar power plants and its classification // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. Mechanical Science and Technology Update. 2019. V. 1260. P. 052033-1–052033-6.
8. Singh V.P., Vijay V., Bhatt M.S., Chaturvedi D.K. Generalized neural network methodology for short term solar forecasting // 2013 Proceedings of 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering. 2013. P. 6737883.
9. Li L.L., Cheng P., Lin H.C., Dong H. Short-term output power forecasting of photovoltaic systems based on the deep belief net // Advances in Mechanical Engineering. 2017. V. 9, No. 9.
10. Wang J., Ran R., Zhou Y. A Short-Term Photovoltaic Power Prediction Model Based on an FOS-ELM Algorithm // Applied Sciences. 2017. V. 7, No. 4. P. 423.
11. Filipe J.M., Bessa R.J., Sumaili J., Tom R., Sousa J.N. A hybrid short-term solar power forecasting tool // 18th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP): conference proceedings. 2015. P. 7325543.
12. Рудной Г.И. Выбор функции активации при прогнозировании нейронными сетями // Машинное обучение и анализ данных. 2011. Т. 1, № 1. С. 16–19.

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING ELECTRICITY CONSUMPTION BY A COMMERCIAL ENTERPRISE

A.V. Blokhin

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: sasha_bloh@mail.ru

A.S. Gritsay

PhD (Eng.), associate professor, Head of the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University ,
e-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

A.U. Gorshenin

graduate student, assistant lecturer at the Department of Informatics and Computer Engineering of the Omsk State Technical University, e-mail: augomgtu@gmail.com

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Abstract. This work is devoted to an important issue that concerns the analysis of the behavior of an individual participant in the electric power system in order to further predict this behavior. To do this, we used data on the hourly electricity consumption of the shopping center. In addition to them, data sets of ambient temperature and time were additionally used. The analysis carried out will be further used in building a model for predicting the consumption of electrical energy by a separate object of the energy system to improve the interaction between the consumer and the supplier of electrical energy.

Keywords: data analysis, electrical energy, consumer and supplier of electrical energy, data forecasting, weather data, time.

Дата поступления в редакцию: 23.05.2022