

Электроэнергетика

УДК 621.31:004

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

И.М. Кирпичникова, Л.А. Саплин, К.Л. Соломахо

Усиление конкуренции на розничном рынке электроэнергии предъявляет новые требования ко всем участникам рынка. Для удержания крупных потребителей от ухода на оптовый рынок электроэнергии и их защиты необходимо использовать новые механизмы в управлении энергосбытовой организации, которые позволят ей сохранить и усилить конкурентное положение компании. Энергосбытовое предприятие как посредник между бытовым потребителем и электростанцией должно проводить постоянное исследование изменения потребностей региона в объемах электроэнергии. Задача состоит в как можно более точном прогнозировании электропотребления для закупа необходимых объемов электроэнергии на оптовом рынке. В случае составления неточного прогноза при нехватке или излишке закупленных объемов энергосбытовое предприятие вынуждено докупать либо продавать излишне закупленную электроэнергию по невыгодной для предприятия цене. Рассматривается задача прогнозирования объемов потребления электроэнергии на основе данных одного из энергосбытовых предприятий. Решение задачи базируется на создании модели и методики прогнозирования. При построении модели используется метод главных компонент. Анализируется необходимость использования фактора «температура окружающей среды», выявляются основные закономерности изменения объемов потребления электроэнергии. В результате исследований установлено, что для построения прогноза необходимо разделение данных на дни недели. Наиболее эффективной моделью считается модель прогнозирования на ближайшие три часа по предыдущим часам, при этом возможно получить прогноз с погрешностью не более 3 %.

Ключевые слова: метод главных компонент, прогнозирование объемов потребления электроэнергии.

В настоящее время реформирование электроэнергетики России привело к конкуренции на оптовом и розничном рынках электроэнергии. В связи с процессом демонополизации в сфере сбыта электрической энергии и возникновением независимых сбытовых компаний энергосбытовой бизнес оказывается в совершенно новых для себя условиях. Постепенное усиление конкуренции на розничном рынке электроэнергии предъявляет новые требования ко всем участникам рынка. Для энергосбытовых компаний увеличивается риск потери своих позиций в конкурентной борьбе. Основным показателем либерализации региональных рынков электроэнергии является снижение рыночной доли бывших монополистов. Несмотря на то, что розничные рынки электрической энергии в большинстве субъектов Российской Федерации все еще характеризуются высокой степенью концентрации в условиях неразвитой конкуренции, в ряде регионов уже наблюдается достаточно сильная конкуренция между сбытовыми компаниями. Поэтому сегодня перед энергосбытовыми организациями встает серьезная задача удержания крупных потребителей от ухода на оптовый рынок электроэнергии и защиты клиентов от «перехвата» со стороны независимых компаний. Это обуславливает использование новых механизмов в управлении энергосбытовой организации, которые позволят ей сохранить и усилить конкурентное положение компании [1, 2].

Таким образом, в условиях развития конкуренции на розничном рынке электроэнергии для энер-

госбытовой организации чрезвычайно актуальной становится проблема эффективного распределения приобретаемой на оптовом рынке электроэнергии. Эффективная работа и использование современных технологий помогает повышать конкурентоспособность предприятия, поэтому актуален вопрос по разработке мероприятий, позволяющих управлять покупкой и продажей электроэнергии. Это достигается планированием и контролем процесса распределения электроэнергии и прогнозированием объемов потребляемой электроэнергии [3].

Энергосбытовое предприятие является посредником между электростанциями, занимающимися выработкой электроэнергии, и потребителями. Выработанная электроэнергия закупается энергосбытовым предприятием на оптовом рынке и реализуется конечному пользователю: промышленным предприятиям и бытовому сектору. Постоянные изменения на предприятиях, в бытовом секторе оказывают влияние на общее потребление региона в целом, что является проблемой энергосбытовых предприятий, задачей которых является полное удовлетворение потребностей региона в электроэнергии. Энергосбытовое предприятие как посредник между бытовым потребителем и электростанцией должно проводить постоянное исследование изменения потребностей региона в объемах электроэнергии. Задача состоит в как можно более точном прогнозировании электропотребления для закупа необходимых объемов электроэнергии на оптовом рынке [4, 5].

Объем электроэнергии, закупаемый на оптовом рынке, равен спрогнозированному объему. В случае составления неточного прогноза при нехватке или излишке закупленных объемов энергосбытовое предприятие вынуждено докупать либо продавать излишне закупленную электроэнергию по невыгодной для предприятия цене. Финансовые затраты приходится возлагать на покупателей, поднимая цену на электроэнергию. Недовольные потребители в этом случае могут перейти к другому гарантирующему поставщику, для приобретения электроэнергии по более низкой цене. Все это приводит к финансовым потерям гарантирующего поставщика. А также в некоторых случаях к штрафам на оптовом рынке вплоть до отстранения от участия в торгах [6].

Для решения данной проблемы энергосбытовым предприятием нам была поставлена задача в создании модели и методики прогнозирования с высокой скоростью вычисления прогнозных значений и с погрешностью, не превышающей больше заданной величины (3 %).

Такие модели для расчета прогнозов были нами построены и исследованы на данных, накопленных на одном из сбытовых предприятий за три года. На предприятии в настоящее время используется устаревшая модель линейного регрессионного анализа, которая учитывает два показателя: температуру окружающей среды и объемы электроэнергии, закупленные на оптовом рынке ранее. Недостаток используемой модели в том, что она при расчете получает погрешность более 4 %, а также подразумевает расчет с помощью ручного труда, и в результате влияния человеческого фактора возможно возникновение ошибок. Кроме того, ручные расчеты приводят к увеличению времени для построения прогноза. В нашей работе пред-

ложено построить математическую модель на основе метода главных компонент. Расчеты проводились в программе МИДАС. Исходные данные – объемы закупа электроэнергии на оптовом рынке посуточно за 2013, а также температура окружающей среды города Челябинска посуточно.

После проведения первичной обработки и анализа данных было выявлено, что они имеют большие различия в рабочие дни, выходные и праздничные. Выявлена общая тенденция энергопотребления: в понедельник – низкое потребление, к среде происходит рост потребления, к пятнице – спад, в выходные и праздничные дни потребление очень низкое. Это связано с большим количеством потребителей – крупных промышленных предприятий. На рис. 1 показано потребление электроэнергии в течение трех недель [7].

В связи с этим данные были разбиты по дням недели. Для построения было создано 6 моделей. Модели для понедельника, вторника, среды, четверга, пятницы, выходных и праздничных дней. На рис. 2 показано потребление рабочих понедельников 2013 года.

Для потребления в понедельники, как и для других дней недели, явно просматривается сезонность: в зимние месяцы потребление электричества растет, в летние месяцы происходит небольшой спад. Это связано с тем, что в зимние месяцы потребление бытовых потребителей возрастает в связи с подключением обогревательных установок [8, 9].

В ходе проведенного исследования было выявлено, что в данном случае электропотребление имеет малую зависимость от температуры. Построение прогноза с учетом фактора «температура» дает большую погрешность, чем без учета этого фактора. Погрешность сокращается незначи-



Рис. 1. Общее потребление электроэнергии (кВт·ч) за 3 недели, начиная с понедельника 07.01.2013

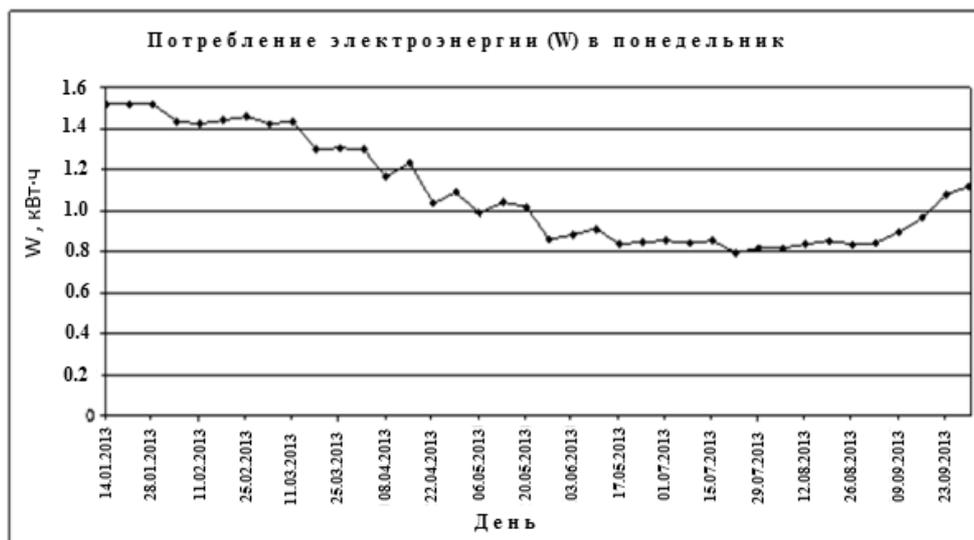


Рис. 2. Потребление электроэнергии (кВт·ч) в рабочие понедельники 2013 г.

тельно, но в данном случае фактор был исключен из расчетов, так как в некоторых ситуациях мало-значимый фактор может также создавать «шум» в данных. Погрешность считается как средняя абсолютная погрешность в процентах (mean absolute percentage error – MAPE). В табл. 1 приведена погрешность при построении прогноза за следующие

24 ч каждого дня с использованием и без использования фактора температуры [10].

В связи с одинаковыми тенденциями электропотребления далее выходные и праздничные дни объединены в один тип данных (построенный прогноз и фактические значения для субботы и воскресения представлены на рис. 3 и 4).

Таблица 1

Погрешность моделей

День недели	Погрешность MAPE (с учетом фактора температуры), %	Погрешность MAPE (без учета фактора температуры), %
Понедельник	3,523	3,136
Вторник	5,700	5,368
Среда	5,173	4,873
Четверг	3,536	2,890
Пятница	3,880	3,023
Суббота	3,705	3,700
Воскресенье	4,386	3,764

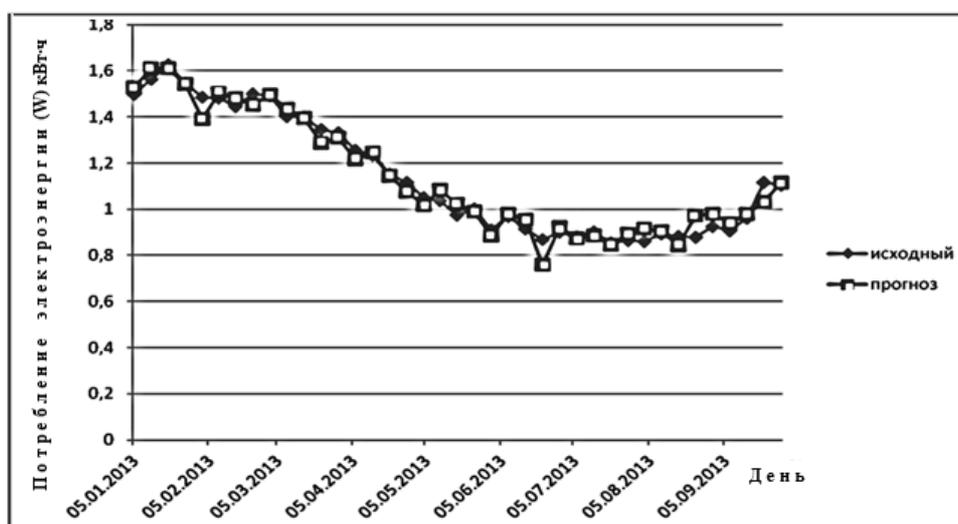


Рис. 3. Полученный прогноз и фактические значения субботнего дня

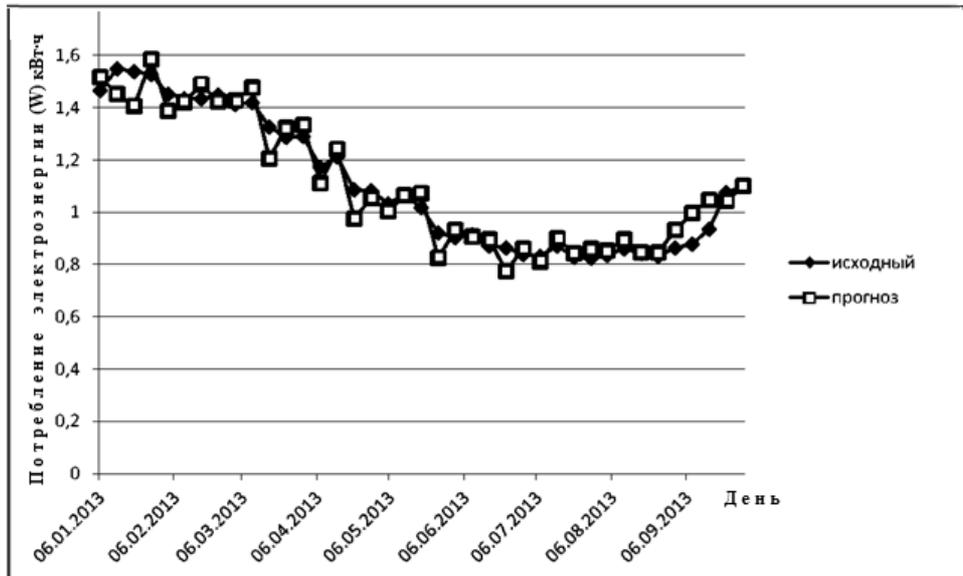


Рис. 4. Полученный прогноз и фактические значения воскресного дня

Далее были построены и изучены 7 моделей: понедельник, вторник, среда, четверг, пятница, суббота, воскресенье без учета температуры. Составлялся прогноз на следующие 24 ч: модель с минимальной погрешностью – для дня «четверг», модель с максимальной погрешностью – «вторник». День четверга считается устойчивым днем. На промышленных предприятиях с понедельника происходит рост потребления, связанный с нагревами печи, включениями станков, на этом этапе возможны какие-то сбои (поломки станков), к четвергу работа предприятий приходит в стабильную стадию и какие-либо колебания электроэнергии не выявляются.

На рис. 5 представлен построенный прогноз и фактические значения для четверга, на рис. 6 – построенный прогноз и фактические значения для вторника. Однако погрешность остается выше 3 % и необходимо исследовать возможность сокращения погрешности. В ходе работы были исследованы модель построения прогноза на 1, 2 и 3 ч.

Например, для дня «понедельник» получены следующие погрешности (табл. 2).

Наиболее удачной признана модель составления прогноза на следующие 3 ч по имеющимся предыдущим часам и типу матрицы зависимостей – ковариационной. Прогноз для дня «понедельник» на время с 12 до 15 ч приведен на рис. 7.

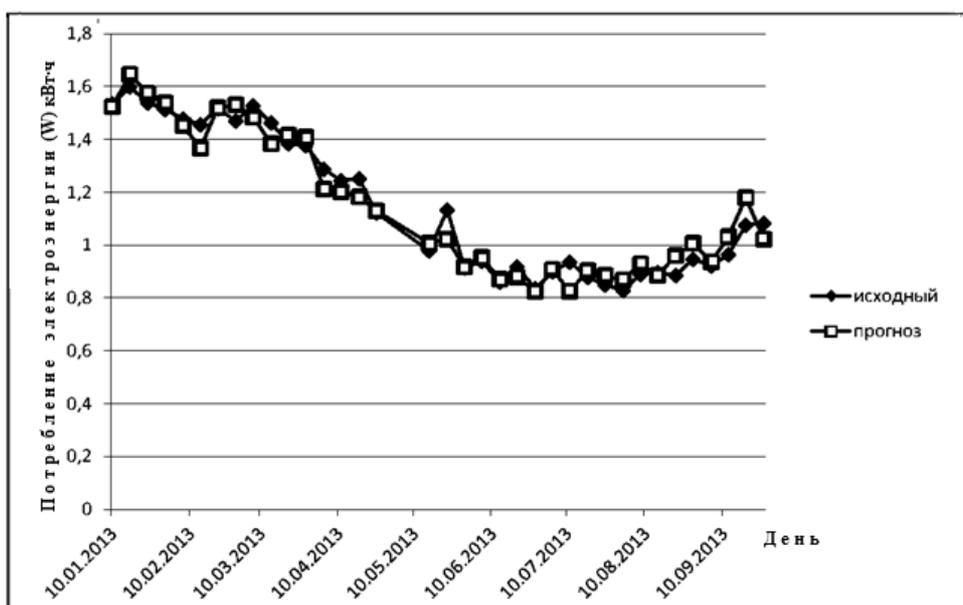


Рис. 5. Полученный прогноз и фактические значения четверга

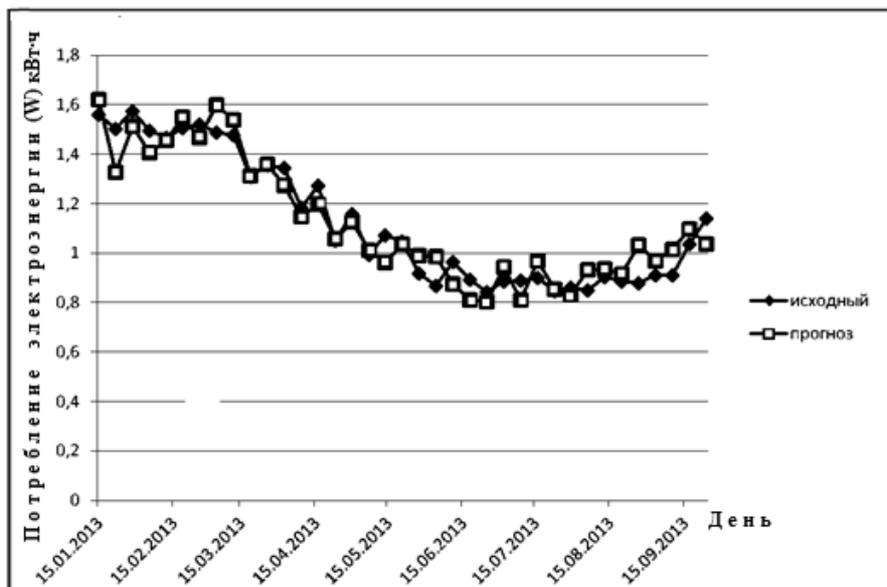


Рис. 6. Полученный прогноз и фактические значения вторника

Таблица 2

Сравнение погрешностей

Часы суток	Модель прогноза на 1 ч (погрешность MAPE), %	Модель прогноза на 2 ч (погрешность MAPE), %	Модель прогноза на 3 ч (погрешность MAPE), %
0–3	3,782	3,613	3,042
3–6	2,046	2,620	1,507
6–9	2,269	2,681	1,869
9–12	3,346	3,121	3,015
12–15	1,620	1,409	0,965
15–18	1,795	1,997	1,464
18–21	3,151	3,238	2,979
21–24	2,861	3,132	2,797

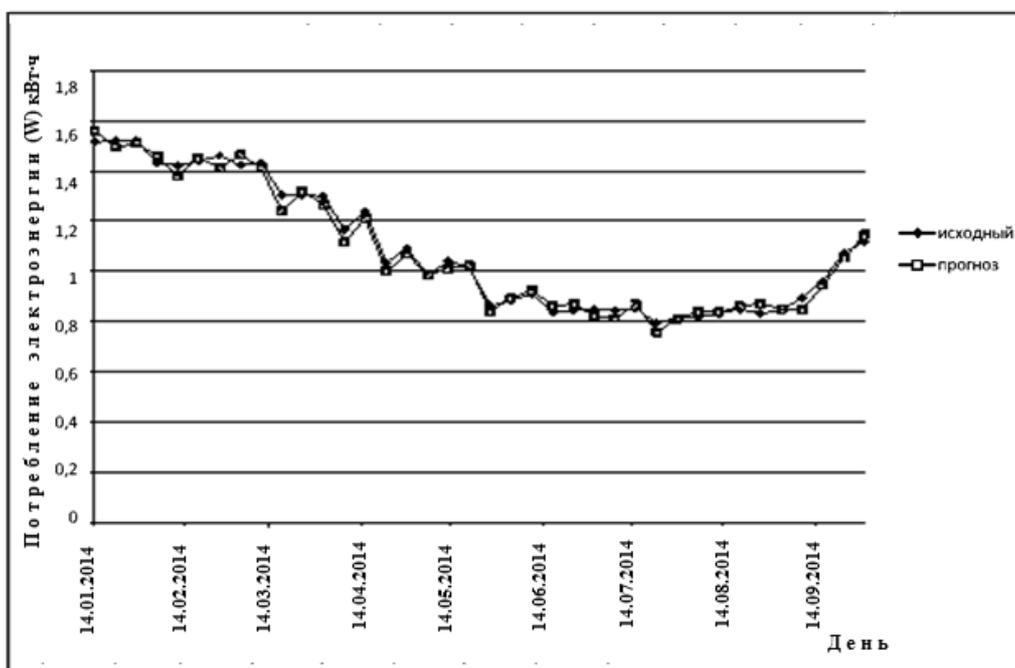


Рис. 7. Полученный прогноз и фактические значения понедельника

Заключение

1. Для построения прогноза необходимо разделение данных на дни недели: понедельник, вторник, среда, четверг, пятница. Субботние и воскресные дни возможно объединить в одну группу.

2. В рамках поставленной задачи фактор «температура» можно не учитывать в связи с малым влиянием и возможным «шумом данных». Наиболее эффективной моделью считается модель прогнозирования на ближайшие 3 ч по предыдущим часам.

3. Прогноз с минимальной погрешностью 2,894 получился для дня недели «четверг», с максимальной погрешностью 5,368 – для дня недели «вторник».

4. Используя для построения прогнозов модель расчета на 3 ч, по предыдущим часам возможно получить прогноз с погрешностью не более 3 %, (в среднем 2,2 %).

Литература

1. Федеральный портал PORTOWN. RU. Энергоэффективность России. – <http://www.portown.ru/information/hide/7938.html>.

2. Аюев, Б.И. Рынки электроэнергии и их реализация в ЕЭС России / Б.И. Аюев. – Екатеринбург: УРО РАН, 2007. – 107 с.

3. Владимирова, Л.П. Прогнозирование и планирование в условиях рынка / Л.П. Владимирова. – М., 2001. – 308 с.

4. Бурдочкин, Ю.С. Энергоснабжение объектов и производственная энергетика / Ю.С. Бурдочкин. – Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2005. – 141 с.

5. Петренко, В.Н. О реализации Постановления Правительства РФ № 643 от 24.10.2003 «О правилах оптового рынка электроэнергии (мощности) переходного периода» / В.Н. Петренко // Вестник энергосбережения Южного Урала. – 2007. – № 2. – С. 6–8.

6. Усихин, В.Н. О нормировании и планировании электропотребления на промышленных предприятиях / В.Н. Усихин // Промышленная энергетика. – 1997. – № 4. – С. 30–37.

7. Воронов, И.В. Определение параметров, влияющих на электропотребление промышленного предприятия с помощью метода экспертных оценок / И.В. Воронов, Е.А. Политов, В.М. Ефременко // Вестник КузГТУ. – 2009. – № 5. – С. 61–64.

8. Ершов, М.С. Моделирование электропотребления в системах промышленного электроснабжения / М.С. Ершов, С.А. Голованов, Г.Я. Григорьев // Промышленная энергетика. – 1999. – № 5. – С. 22–25.

9. Влияние метеорологических факторов на электропотребление / Б.И. Макоклюев, Б.С. Павликов, А.И. Владимиров, Г.И. Фефелова // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 26–31.

10. Айвазян, С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: Юнити, 1998. – 1022 с.

Кирпичникова Ирина Михайловна, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электротехника и возобновляемые источники энергии», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ionkim@mail.ru.

Саплин Леонид Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, директор Центрального филиала ОАО «Челябэнергосбыт», г. Челябинск; L.Saplin@cf.esbt.ru.

Соломахо Ксения Львовна, ведущий инженер-технолог Центрального филиала ОАО «Челябэнергосбыт», г. Челябинск; solomahok@mail.ru.

Поступила в редакцию 3 марта 2014 г.

ENERGY CONSUMPTION FORECASTING

I.M. Kirpichnikova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ionkim@mail.ru,

L.A. Saplin, Chelyabenergosbit, Chelyabinsk, Russian Federation, L.Saplin@cf.esbt.ru,

K.L. Solomakho, Chelyabenergosbit, Chelyabinsk, Russian Federation, solomahok@mail.ru

Competition on retail electricity market is growing and, thus, imposing new requirements on all the market players. To keep large consumers from leaving for wholesale electricity market and to protect them energy sales organizations need to introduce new management mechanisms that would preserve and enhance competitive condition of the company. As a dealer between residential consumer and power plant, energy sales enterprise must conduct permanent research on changes in regional need for energy. The task is to make the most accurate forecast of energy consumption for further purchase of necessary energy on wholesale market. Inaccurate forecast at deficit or excess of the purchased energy forces energy sales enterprise to buy up or to sell energy surplus at inexpedient price. The article considers energy consumption forecasting on the basis of data obtained from one of energy sales enterprises. Problem solution is based on development of model and forecast method. Model development involves principal component analysis. The authors analyze whether "ambient temperature" factor must be used, and reveal main regularities in energy consumption changes. The research shows that forecast plotting should involve data division by days of the week. The most effective model is model of forecasting for nearest three hours by previous hours. At that it is possible to obtain forecast with margin of error of 3 % max.

Keywords: principal component analysis, energy consumption forecasting.

References

1. Federal'nyy portal PORTOWN. RU. Energoeffektivnost' Rossii. [Federal portal PORTOWN. RU. Energy Efficiency in Russia] Available at: <http://www.protown.ru/information/hide/7938.html> (accessed 14.04.2014)
2. Ayuev B.I. *Rynki elektroenergii i ikh realizatsiya v EES Rossii* [Electricity markets and their implementation in the UES of Russia], Ekaterinburg, URO RAN Publ., 2007. 107 p.
3. Vladimirova, L.P. *Prognozirovanie i planirovanie v usloviyakh rynka* [Forecasting and planning in a market], Moscow, Nauka Publ., 2001. 308 p.
4. Burdochkin, Yu.S. *Energosnabzhenie ob'ektov i proizvodstvennaya energetika* [Energy supply facilities and energy production]. Rubcovsk, Rubtsovsky Industrial Institute Publ., 2005. 141 p.
5. Petrenko V.N. [On the implementation of the RF Government Decree № 643 dated 24.10.2003 "On the rules of the wholesale electricity (capacity) Transition"]. *Vestnik energosberezheniya Yuzhnogo Urala* [Bulletin of saving the Southern Urals], 2007, no. 2. pp. 6–8. (in Russ.)
6. Usihin V. N. [About planning and rationing electricity for industrial]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Energy], 1997, no. 4, pp. 30–37. (in Russ.)
7. Voronov I.V., Poletov Ye.A., Yeremenko V.M. [Determination of parameters influencing energy consumption in industrial enterprise using the expert evaluations]. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzGTU], 2009, no 5, pp. 61–64. (in Russ)
8. Ershov M. S., Golovanov S. A., Grigoryev G. Ya. [Modelling electricity consumption in commercial power systems]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial Energy]. 1999, no 5, pp. 22–25. (in Russ.)
9. Makoklyuev B.I., Pavlikov B.S., Vladimirov A.I., Fefelova I.G. [Influence of meteorological factors on the electricity consumption]. *Power Technology and Engineering*, 2002, no 1, pp. 26–31. (in Russ.)
10. Ayvazyan S.A., Mhitaryan V.S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki* [Applied statistics and econometrics basics]. Moscow, Yuniti Publ, 1998. 1022 p.

Received 3 March 2014