

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В.И. Доманов, А.И. Билалова

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Переход к рыночным отношениям между потребителями электроэнергии и энергосистемой приводит к повышению требований ко всем участникам рынка. Поэтому в условиях развития конкуренции на розничном рынке для энергосбытовой организации становится актуальной проблема эффективного распределения электроэнергии, приобретаемой на оптовом рынке. Прогноз потребления является опорным показателем для дальнейшего планирования спроса потребителей, минимизации затрат на ее производство и транспортировку. В случае составления неточного прогноза предприятие вынуждено покупать или продавать электроэнергию по заранее невыгодной цене. Рассматривается задача прогнозирования объемов потребления электроэнергии на основе данных одного из энергосбытовых предприятий. Строится прогноз с минимальной ошибкой прогнозирования потребления электроэнергии с учетом зависимости от метеофакторов. Рассматривается составление прогноза с различной информационной базой. В результате исследований выявлена взаимосвязь между метеофакторами и объемами потребления электроэнергии, о чем свидетельствует коэффициент корреляции. Показано, что наиболее эффективной считается модель прогнозирования с большим количеством различных входных информационных баз.

Ключевые слова: энергопотребление, статистический анализ, прогнозирование, коэффициент корреляции, ошибка прогнозирования.

Переход к рыночным принципам взаимоотношений между потребителями и энергосистемой повышает требования к точности прогнозирования энергопотребления, увеличивает ответственность за решения, принятые на основе результатов прогнозирования. В условиях функционирования рынка электроэнергии точность прогнозов потребления существенно влияет на технологические и экономические показатели энергосистемы.

Прогноз дает информацию для последующего планирования спроса, обеспечения надежного снабжения потребителей, минимизации затрат на производство, поставку и поддержание качественных показателей электрической энергии [1]. Прогноз нагрузки играет решающую роль при ценообразовании на оптовом рынке электроэнергии и мощности и становится все более важным как для производителей, так и для потребителей.

Объем электроэнергии, закупаемый на оптовом рынке, определяется в соответствии с прогнозом. В случае составления неточного прогноза энергосбытовое предприятие вынуждено докупать либо продавать излишнюю электроэнергию по невыгодной цене. Финансовые затраты возлагаются на покупателей за счет увеличения цены на электроэнергию. Потребители в этом случае могут перейти к другому гарантирующему поставщику для приобретения электроэнергии по более низкой цене. Все это приводит к финансовым потерям поставщика, а также в некоторых случаях к штрафам на оптовом рынке вплоть до отстранения от участия в торгах [2].

Решение данной проблемы ставит задачу построения прогноза потребления электроэнергии с минимальной погрешностью и определения зави-

симости объемов энергопотребления от метеофакторов. Точность прогнозирования напрямую зависит от методик расчета. Существует большое количество моделей и методов краткосрочного и долгосрочного прогнозирования нагрузки, каждая из которых имеют определенные достоинства и недостатки [3]. В работе анализируется ошибка прогнозирования в зависимости от объема и состава исходной информации. Для построения прогнозных значений были исследованы данные, накопленные в МУП «Ульяновская городская электросеть» за три года. Исходные данные – объемы потребленной электроэнергии помесечно за 2013 год, а также среднемесячные температура и влажность окружающей среды города Ульяновска.

Исходной информацией для составления прогноза потребления электроэнергии могут выступать:

- предшествующие значения прогнозируемой величины x_1 ;
- предшествующие значения величин (x_i) , связанных технически с переменной x_1 .

Процесс составления прогноза можно разделить на три этапа:

- составление исходной базы данных;
- выполнение математических вычислений (собственно прогнозирование);
- анализ результатов (определение ошибок).

Рассмотрим подробнее каждый этап.

Составление исходной базы данных (БД) является важным процессом. В конечном счете, сформированные массивы значений величин x_1, x_2, x_3, \dots будут определять точность полученного прогноза. БД можно оценить по нескольким параметрам:

1. Глубина исходной информации по времени K_T .

Если составляется прогноз на интервал времени ΔT (например, 1 год), то глубину исходной информации можно оценить выражением $K_T = n\Delta T$, где n – число предшествующих лет, по которым имеются данные.

2. Шаг исходной информации Δt_n (например – месяц, неделя, день, час), весьма часто Δt_n совпадает с требуемым шагом прогноза Δt_n .

3. Количество исходных переменных x_i , используемых для составления прогноза. Эти переменные должны коррелировать с основной (прогнозируемой) переменной x_1 .

Прогноз в настоящее время составляется (вычисляется) в основном на основе регрессионного анализа. В общем случае уравнение регрессии имеет вид:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \varepsilon, \quad (1)$$

где y – прогнозируемая величина; β_0, β_1, \dots – коэффициенты регрессии; ε – ошибка регрессии.

При этом x_1, x_2, \dots – неслучайные величины (значения из БД), y и ε – случайные. В выражении (1) необходимо определить значения коэффициентов $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_i$. Критерии нахождения этих значений разнообразны, наибольшее распространение получил метод наименьших квадратов [4].

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_{i\beta}))^2 \Rightarrow \min. \quad (2)$$

Для двух переменных необходимые условия экстремума принимают вид:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2) &= 0; \\ \sum_{i=1}^n X_1 (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2) &= 0; \\ \sum_{i=1}^n X_2 (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_1 - \beta_2 x_2) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате решения системы уравнений (3) находятся значения β_0, β_1 и β_2 , при которых удов-

летворяется условие (2). Очевидно, что значение минимума будет зависеть от объема исходной информации.

В статье рассматривается прогнозирование энергопотребления, поэтому представляют интерес следующие ошибки:

$$\text{– относительная за интервал } \Delta t_n \quad \Delta_I = \frac{y_{oi} - y_i}{y_{oi}},$$

где y_{oi} – реальное значение энергопотребления за Δt_n , y_i – прогноз потребления за Δt_n ;

$$\text{– средневзвешенная по модулю } \Delta_{II} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta_i|}{n},$$

$$\text{– максимальная } \Delta_{III} = \max(\Delta_i).$$

Потребление электроэнергии населением и промышленными предприятиями связано со многими факторами, в том числе с температурой воздуха, влажностью и др.

Нагрузка на линии электропередач (ЛЭП) зависит от потребления. В случае перегрузки ЛЭП может выйти из строя, что повлечет тяжелые последствия. Постоянная необходимость снабжения населения и промышленных предприятий электроэнергией порождает необходимость серьезной защиты ЛЭП от аварий.

Одним из решений этой задачи может быть прогнозирование потребления электроэнергии. Как правило, специалисты знают о потенциальных возможностях электросетей, и информация об объемах потребления позволит предотвратить сбои в работе. Этот путь требует незначительных финансовых затрат. Информация, необходимая для прогнозирования, как правило, собирается датчиками на электростанции или коммунальными службами.

В процессе обработки статистических данных за несколько лет был сформирован массив базы данных [5], содержащий значения:

– месячного потребления электроэнергии за 2013 год;

Исходная база данных

Месяц 2014 г.	Потребление электроэнергии	Прогноз на 2014 г. по потреблению электроэнергии за 2013 г.	Ошибка прогнозирования	Прогноз на 2014 г. по потреблению электроэнергии за 2013 г. с учетом температуры	Ошибка прогнозирования	Прогноз на 2014 г. по потреблению электроэнергии за 2013 г. с учетом влажности	Ошибка прогнозирования
Январь	555991	565 337	-1,681	555224	0,137	555 367	0,112
Февраль	535854	531 997	0,719	535900	-0,008	535 648	0,038
Март	520112	526 872	-1,299	524546	-0,852	523 579	-0,666
Апрель	474685	472 440	0,472	474647	0,008	473 546	0,239
Май	396990	397 653	-0,167	395646	0,338	396 846	0,036
Июнь	380455	383 916	-0,909	380947	-0,129	380 546	-0,023
Июль	402889	402 509	0,094	401546	0,333	401 946	0,234
Август	399518	403 618	-1,026	399546	-0,007	399 761	-0,060
Сентябрь	413408	420 391	-1,689	413687	-0,067	413 645	-0,057
Октябрь	512261	514 677	-0,471	512945	-0,133	512 735	-0,092
Ноябрь	502367	503 913	-0,307	502807	-0,087	502 900	-0,106
Декабрь	560579	565 154	-0,816	568124	-1,345	566 573	-1,069
Коэффициент корреляции	1,000	0,998	0,001	0,999	-0,526	0,999	0,461

- среднемесячной температуры;
- среднемесячной влажности.

Особенностью данной БД является то, что исходные данные имеют высокую корреляцию.

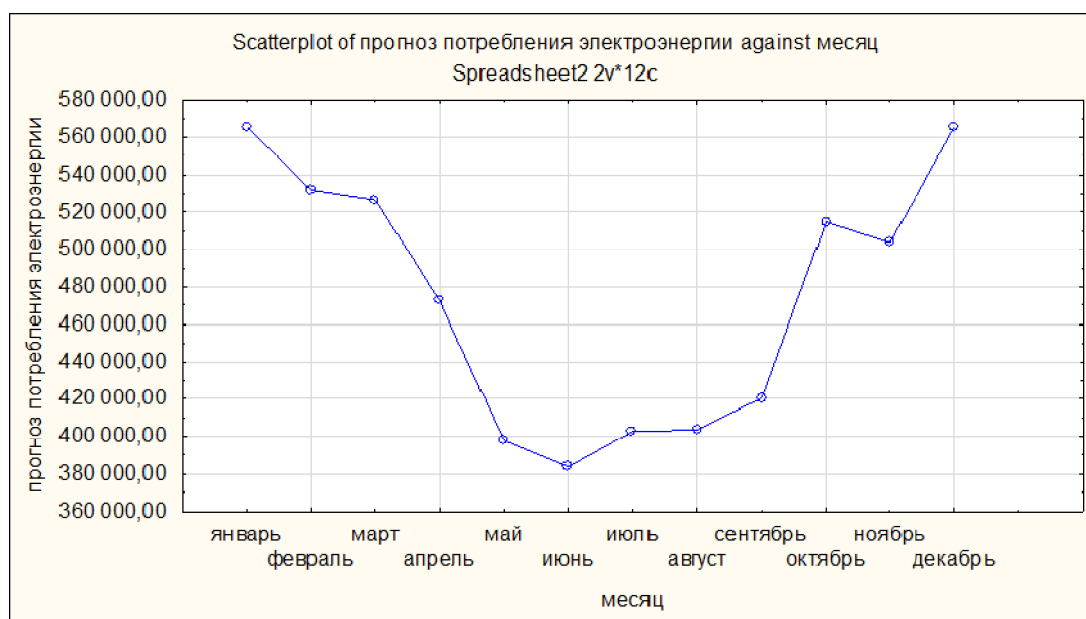
Используя программный пакет STATISTICA [6], выполним прогноз на 2014 год и проведем анализ результатов. В таблице приводятся исходные и прогнозируемые значения потребления электроэнергии для различного набора данных.

По данным таблицы были построены графики (рис. 1, 2)

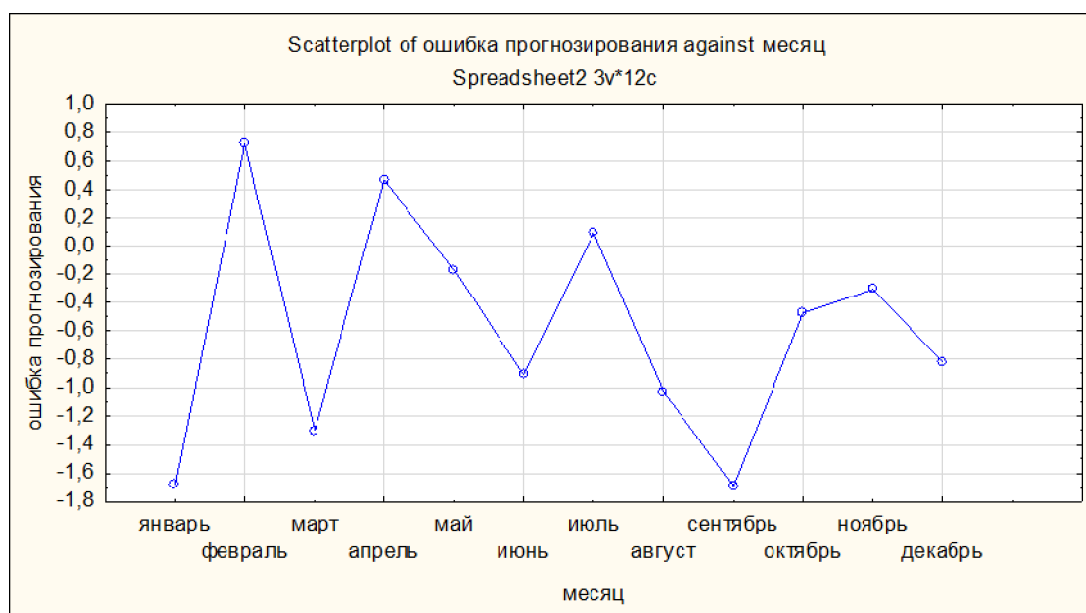
Видно, что имеется явно выраженная зави-

симость (связь) между потреблением электроэнергии, температурой и влажностью. Это же показывают коэффициенты корреляции. Сравнение коэффициента корреляции для исходных данных и для ошибки прогнозирования говорит о том, что в уравнении регрессии коэффициенты для рассматриваемого случая подобраны неоптимально.

Рассмотрим зависимости ошибок прогнозирования от составляющих. На рис. 3 приведены графики, характеризующие соотношения этих переменных и зоны разброса данных.

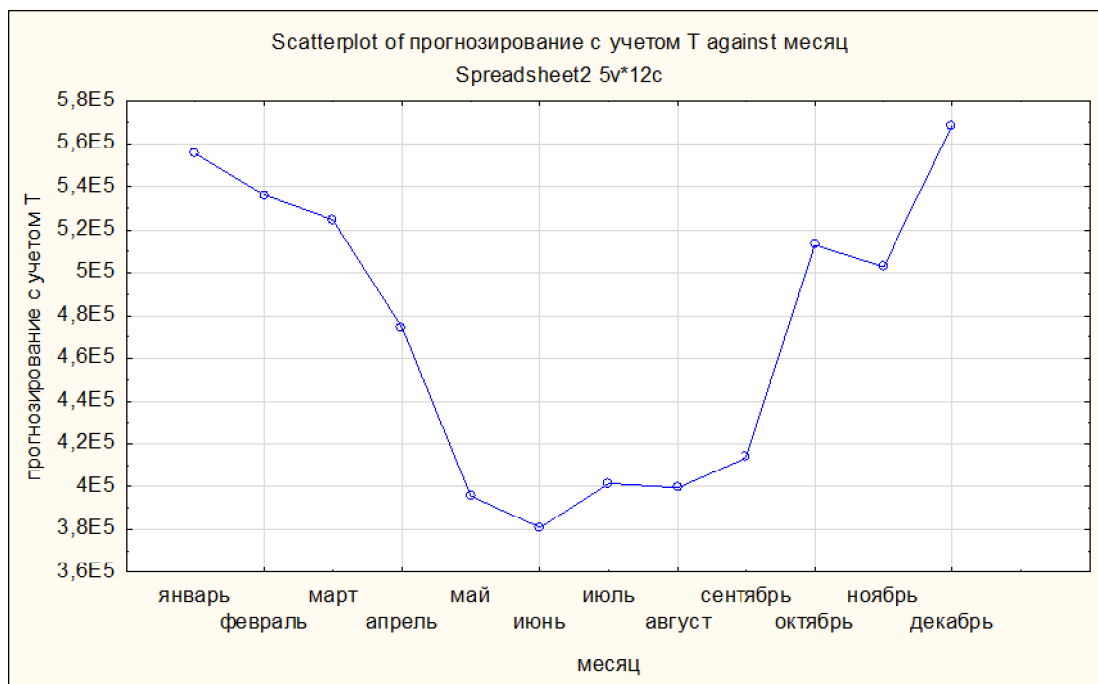


а)

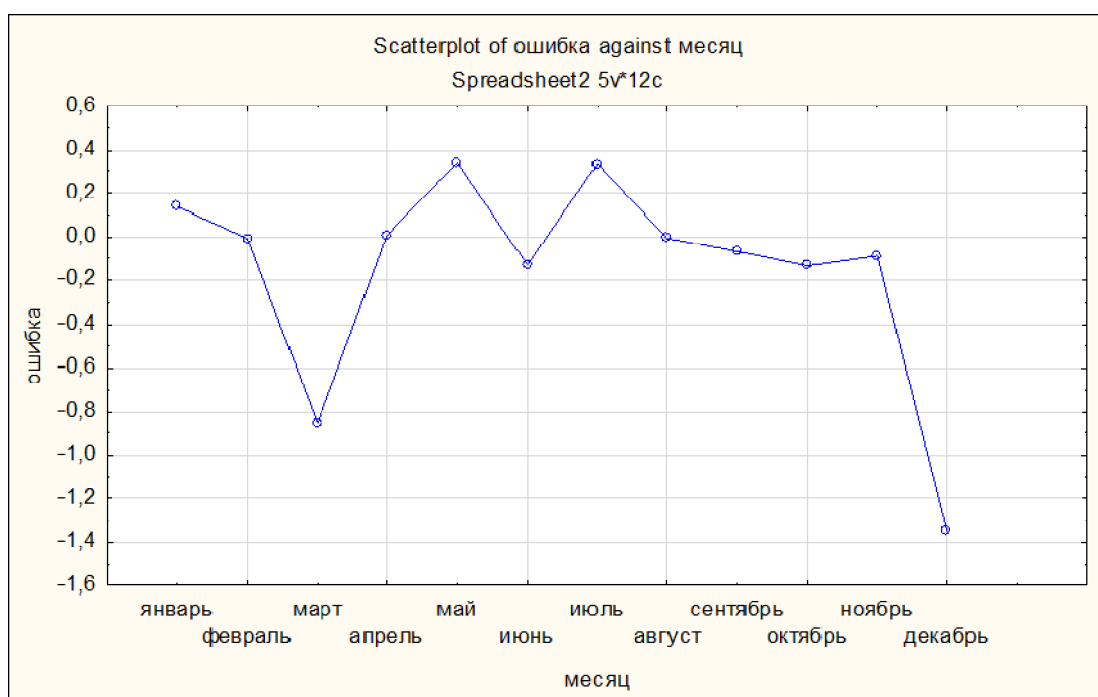


б)

Рис. 1. Временная зависимость: а – прогноз электропотребления (кВт) на 2014 год; б – ошибка прогнозирования (%)

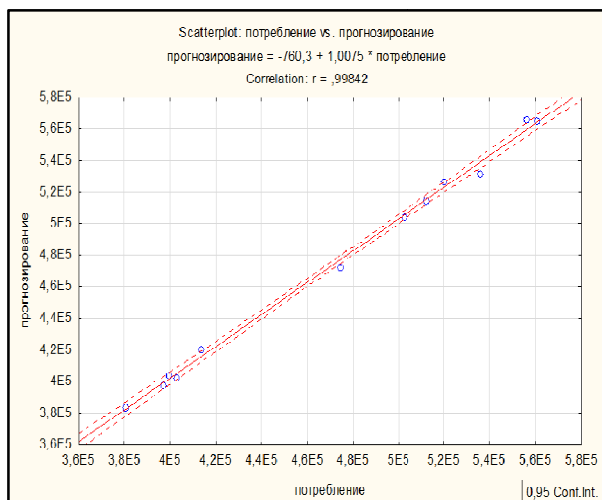


а)

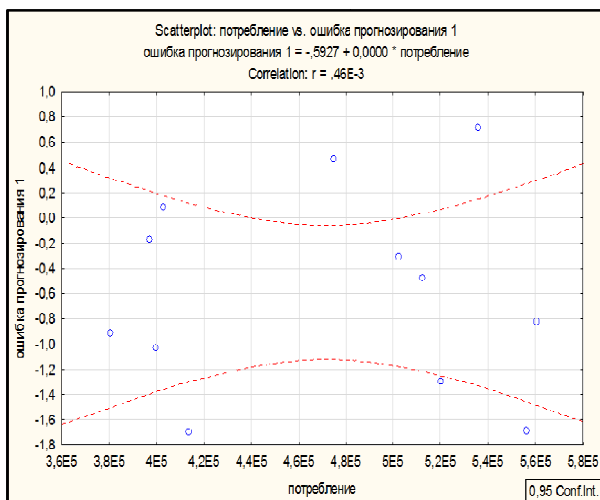


б)

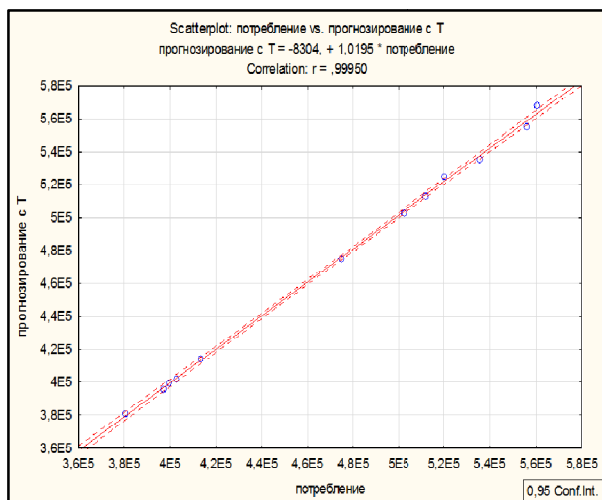
Рис. 2. Временная зависимость: а – прогноз электропотребления (кВт) на 2014 год с учетом влияния температуры; б – ошибка прогнозирования (%)



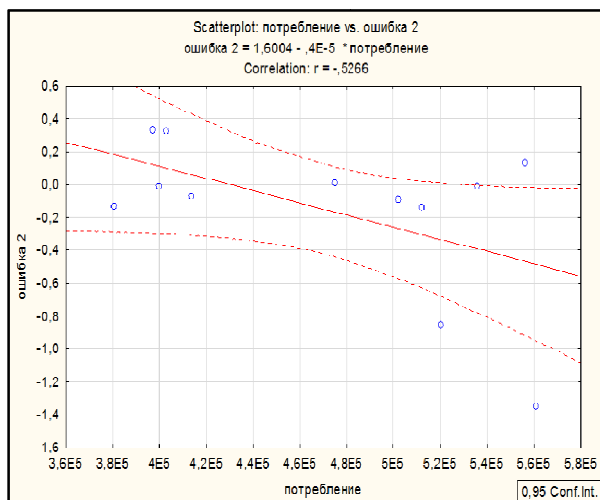
а)



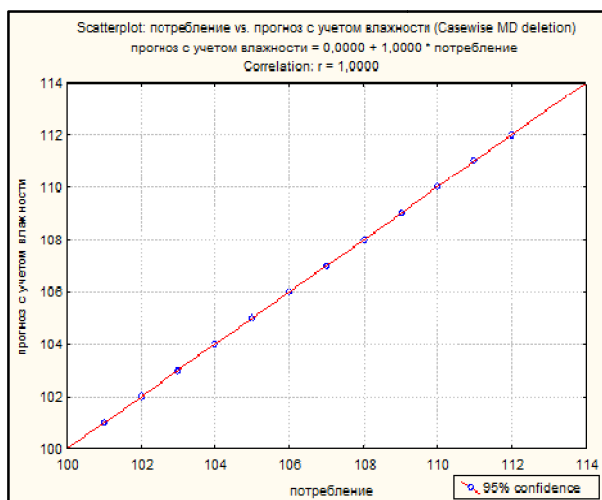
б)



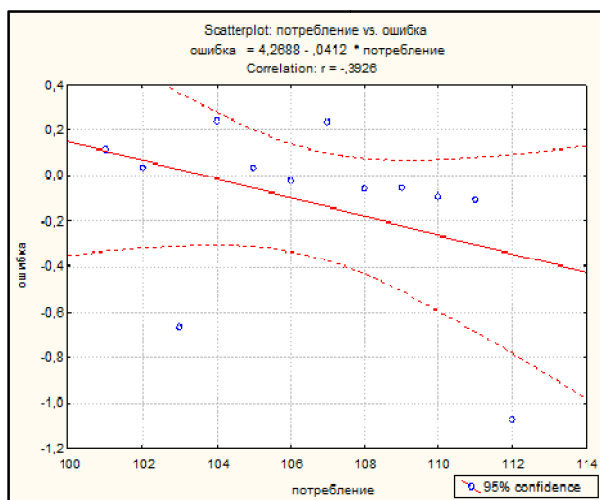
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Корреляционная зависимость потребления электроэнергии в 2014 г. от прогноза на 2014 год (а); ошибки прогноза на 2014 год (б); прогноза на 2014 год с учетом влияния температуры (в); ошибки прогноза с учетом влияния температуры (г); прогноза на 2014 год с учетом влияния влажности (д); ошибки прогноза с учетом влияния влажности (е)

Заключение

1. Расширение базы данных снижает ошибку прогнозирования.
2. Среднее значение ошибки при прогнозировании только по энергопотреблению практически не изменяется от объема потребления.
3. Среднее значение ошибки при расширенной базе прогнозирования уменьшается и снижается с ростом объема потребления.
4. Потребление электроэнергии достаточно жестко коррелирует с температурой и влажностью.

Литература

1. Шумилова, Г.П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева. – Екатеринбург: УРО РАН, 2008. – 88 с.
2. Аюев, Б.И. Рынки электроэнергии и их реализация в ЕЭС России / Б.И. Аюев. – Екатеринбург: УРО РАН, 2007. – 107 с.
3. Кирпичникова, И.М. Прогнозирование объемов потребления электроэнергии / И.М. Кирпичникова, Л.А. Саплин, К.Л. Соломахо. – Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – Т. 14, № 2. – С. 16–21.
4. Валеев, С.Г. Система поиска оптимальных регрессий / С.Г. Валеев, Г.Р. Кадырова. – Казань: ФЭН, 2003. – 160 с.
5. Доманов, В.И. Анализ прогнозирования энергопотребления с различными информационными базами / В.И. Доманов, А.И. Билалова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4 (3). – С. 535–537.
6. Боровиков, В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В.П. Боровиков. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

Доманов Виктор Иванович, канд. техн. наук, зав. кафедрой «Электропривод и АПУ», Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск; andrew.domanov@gmail.ru.

Билалова Алиса Ильдаровна, аспирант, Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск; bilalova_alisa@mail.ru.

Поступила в редакцию 13 ноября 2015 г.

DOI: 10.14529/power160208

FORECASTING POWER CONSUMPTION BASED ON SOURCE INFORMATION

V.I. Domanov, andrew.domanov@gmail.ru,

A.I. Bilalova, bilalova_alisa@mail.ru

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation

The transition to market relations between power consumers and power supply systems leads to stricter requirements to all market participants. Therefore, a power sales company has to face a severe competition in the power retail market and to solve a problem of an efficient distribution of power acquired in the wholesale market. A forecast value of power consumption is a reference indicator for further planning the rated power values required for response to power consumer demand and minimizing the power production and transportation cost. An inaccurate forecast results in a shortage or an excess of purchased power and makes the company buy or sell electricity at a disadvantageous price. The problem of forecasting power consumption can be solved based on data supplied by a power sales company. For this purpose, a forecast of power consumption with a minimum error takes into account meteorological factors, too. Forecasts with different databases are considered. The studies have revealed a clear link between meteorological factors and power consumption, which is expressed in the correlation coefficient. The most effective forecasting model is that with a great number of different input databases.

Keywords: power consumption, statistical analysis, forecasting, correlation coefficient, forecasting error.

References

1. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startseva T.B. *Prognozirovanie elektricheskikh nagruzok pri operativnom upravlenii elektroenergeticheskimi sistemami na osnove neyrosetevykh struktur* [Prediction of Electrical Load in Operational Control of Power Systems Based on Neural Network Structures]. Ekaterinburg, Ural Branch RAS Publ., 2008. 88 p.
2. Ayuev B.I. *Rynki elektroenergii i ik hrealizatsiya v EES Rossii* [Electricity Markets and Their Implementation in the UES of Russia]. Ekaterinburg, Ural Branch RAS Publ., 2007. 107 p.
3. Kirpichnikova I.M., Saplin L.A., Solomakho K.L. [Forecasting Electricity Consumption]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Energy*, 2014, vol. 14, no. 2, pp. 16–21. (in Russ.)
4. Valeev S.G., Kadyrova G.R. *Sistema poiska optimal'nykh regressii* [Search Engine Optimal Regression]. Kazan: FEN Publ., 2003. 160 p.
5. Domanov V.I., Bilalova A.I. [Analysis of Energy Consumption Prediction with Various Information Databases]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2014, vol. 16, no. 4 (3), pp. 535–537. (in Russ.)
6. Borovikov V.P. *STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: dlya professionalov* [STATISTICA. Art on a Computer Analysis of the Data: for Professionals]. 2nd ed. SPb, Peter Publ., 2003. 688 p.

Received 13 November 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Доманов, В.И. Прогнозирование объемов энергопотребления в зависимости от исходной информации / В.И. Доманов, А.И. Билалова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 59–65. DOI: 10.14529/power160208

FOR CITATION

Domanov V.I., Bilalova A.I. Forecasting Power Consumption Based on Source Information. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 59–65. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160208