

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА И ПОВЕДЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В СПОСОБАХ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.М. КУМАРИТОВ, А.Э. ДЗГОЕВ, Д.К. ГАСИЕВА, Е.Н. НАРТИКОЕВА,  
О.Р. БАБОЧИЕВ

Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(Государственный технологический университет) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ

*Разработаны новые полезные регрессионные модели, которые используются для прогнозирования электропотребления. Проведен экспериментальный системный анализ качества и поведения регрессионных моделей в нескольких способах оперативного прогнозирования потребления электроэнергии. Выявлен оптимальный способ оперативного прогнозирования электропотребления.*

*Ключевые слова: метод скользящей матрицы, анализ экспериментальных данных, оперативное прогнозирование электропотребления, математическая статистика.*

### **Введение**

Новый оптовый рынок электроэнергии и мощности предъявляет повышенные требования к точности и корректности оперативных прогнозных оценок электропотребления в регионе. Прогнозирование электропотребления «на час вперед» следующих суток является актуальной задачей для энергосбытовых компаний, так как они подают заявки на необходимую мощность электроэнергии администратору торговой системы (АТС).

Новый оптовый рынок электроэнергии и мощности (НОРЭМ) играет ключевую роль в создании новых рыночных условий для производителей, гарантирующих поставщиков и потребителей электроэнергии. С 01.01.2011 г. уровень либерализации составил 100%, таким образом цена на электроэнергию должна полностью складываться на основе конкурентных рыночных цен. В сложившихся условиях особую актуальность приобретает задача достоверного оперативного прогнозирования электропотребления. Оперативное корректное прогнозирование электрических нагрузок в настоящее время является одной из основных областей исследования в электроэнергетике. Стимулом к решению данной проблемы является не только коммерческая сторона, но и эффективное энергопользование, так как именно на прогнозные значения потребителей ориентируются генерирующие компании.

### **Методика исследования**

В статье [1] описан разработанный новый метод прогнозирования, основанный на использовании так называемой «скользящей матрицы» и заключающийся в непрерывном обновлении коэффициентов уравнения регрессии путём удаления строки с устаревшими данными в матрице и ввода новой строки с данными в прогнозируемой точке. «Метод скользящей матрицы» [2] был использован авторами в данной научной работе для оперативного прогнозирования электропотребления. Метод позволяет непрерывно избавляться от старого информационного «груза», в связи с чем делает прогноз электропотребления более корректным [1,2].

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим способы оперативного прогнозирования электропотребления и расчет планового почасового показателя (ППП) по «Методу скользящей матрицы».

Оперативное прогнозирование потребления электроэнергии является основой для формирования заявки, подаваемой администратору торговой системы (АТС). Оперативные прогнозные оценки необходимы для расчета планового почасового показателя потребления электроэнергии (ППП). Плановое почасовое потребление – это сумма учётных показателей, регистрирующих план почасового потребления потребителей электроэнергии, задаваемая на каждый час определенных суток в каждой точке учёта (поставки) участника оптового рынка электроэнергии и мощности. Для энергосбытовых компаний Республики Северная Осетия - Алания ППП рассчитывается по формуле

$$PPP = YP - GEN + NPE, \quad (1)$$

где  $PPP$  – плановый почасовой показатель;  $YP$  – прогнозное значение электропотребления, кВт·ч.;  $GEN$  – генерация электроэнергии (ОАО "Павлодольская гидроэлектростанция" Моздокский район, РСО-Алания), кВт·ч.;  $NPE$  – нагрузочные потери электроэнергии, кВт·ч.

Во время проведения исследования были рассмотрены и проанализированы несколько способов оперативного прогнозирования потребления электроэнергии.

Рассмотрим первый способ.

#### Способ 1А

Использование экспериментальных данных фактического потребления электроэнергии двадцати предыдущих рабочих дней, за определенный временной интервал (1 час) - (составляются отдельные матрицы для рабочих и выходных дней).

Для заполнения матрицы независимых переменных  $X$  и зависимой переменной  $Y$  решено было разделить экспериментальные данные по потреблению электроэнергии на рабочие и выходные дни.

При расчете прогнозных оценок на следующий рабочий день (за выбранный период времени 1 час) использовались экспериментальные данные фактического потребления электроэнергии за предыдущие 20 рабочих дней ( $N=20$ ) за временной интервал 1 час. Двадцать рабочих дней было выбрано исходя из того, что минимальное значение наблюдений для проверки наличия автокорреляции во временном ряду по методу Дарбина-Уотсона [3] не должно быть менее 15-ти. С другой стороны, при  $N > 20$  возрастает число «устаревших» экспериментальных данных и их негативное влияние при формировании адекватных регрессионных моделей, которые будут использованы при прогнозировании электропотребления.

В качестве независимых переменных  $X$  были выбраны время и температура окружающей среды (по данным метеослужбы), а зависимой переменной – потребление электроэнергии  $Y$ .

Проведены экспериментальные расчеты прогнозных оценок электропотребления на следующий рабочий день (21-й рабочий день). Далее, в результате использования метода скользящей матрицы, из матриц  $X$  и  $Y$  удаляется первая строка (экспериментальные данные первого дня) и добавляются фактические данные, полученные за 21-й рабочий день, новой строкой в конец матриц. Аналогично производится расчет на 22-й день.

Проведен экспериментальный расчет прогнозных значений электропотребления по способу 1А.

$$N := 20; k := 5,$$

где  $N$  – число опытов;  $k$  – число коэффициентов регрессии в уравнении;

$X_0$  – фиктивная переменная (для формирования свободного члена коэффициента регрессии  $B_0$ );

$X_1$  – независимая переменная (сутки);

$X_1^2$  – независимая переменная (сутки<sup>2</sup>);

$X_2$  – температура атмосферы;

$Y$  – матрица-столбец зависимой переменной (потребление электроэнергии).

$$X := \begin{pmatrix} X_0 & X_1 & X_1^2 & X_2 & X_1 \cdot X_2 \\ 1 & 1 & 1 & 16 & 16 \\ 1 & 2 & 4 & 20 & 40 \\ 1 & 3 & 9 & 18 & 54 \\ 1 & 4 & 16 & 18 & 72 \\ 1 & 5 & 25 & 16 & 80 \\ 1 & 6 & 36 & 19 & 114 \\ 1 & 7 & 49 & 17 & 119 \\ 1 & 8 & 64 & 14 & 112 \\ 1 & 9 & 81 & 16 & 144 \\ 1 & 10 & 100 & 10 & 100 \\ 1 & 11 & 121 & 9 & 99 \\ 1 & 12 & 144 & 14 & 168 \\ 1 & 13 & 169 & 12 & 156 \\ 1 & 14 & 196 & 12 & 168 \\ 1 & 15 & 225 & 9 & 135 \\ 1 & 16 & 256 & 10 & 160 \\ 1 & 17 & 289 & 9 & 153 \\ 1 & 18 & 324 & 0 & 0 \\ 1 & 19 & 361 & -1 & -19 \\ 1 & 20 & 400 & 3 & 60 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} Y \\ 142.218 \\ 133.586 \\ 134.682 \\ 133.874 \\ 136.984 \\ 137.780 \\ 144.237 \\ 143.615 \\ 146.393 \\ 152.135 \\ 158.875 \\ 161.347 \\ 163.465 \\ 150.677 \\ 163.293 \\ 180.914 \\ 182.919 \\ 190.758 \\ 193.118 \\ 192.215 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Матрица независимых переменных  $X$  и вектор-столбец зависимой переменной  $Y$

Коэффициенты регрессионного уравнения были рассчитаны по формуле

$$B := (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (2)$$

где  $B$  – коэффициенты регрессионного уравнения;  $X$  – матрица независимых переменных;  $Y$  – матрица-столбец зависимой переменной (потребление электроэнергии).

В результате получаем 5 коэффициентов регрессии:

$$B := \begin{pmatrix} 166.238 \\ -2.111 \\ 0.184 \\ -1.601 \\ 0.062 \end{pmatrix}$$

Получена регрессионная модель, которая представлена в виде формулы

$$Y = 166,238 - 2,111 \cdot X_1 + 0,184 \cdot X_1^2 - 1,601 \cdot X_2 + 0,062 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (3)$$

Результаты оперативного прогнозирования по способу 1А представлены в табл. 1. Обозначения: диапазон времени – каждый час суток;  $t^\circ\text{C}$  – температура окружающей среды за каждый час суток;  $Y_{\text{ФАКТ}}$  – фактическое потребление электроэнергии за каждый час суток (кВт·ч);  $Y_{\text{ПРОГНОЗ}}$  – прогнозные оценки электропотребления за каждый суток (кВт·ч);  $|\Delta Y|$  – абсолютная ошибка прогнозных оценок электропотребления за каждый час суток, (кВт·ч);  $\varepsilon$  – относительная ошибка прогнозных оценок электропотребления за каждый час суток, %;  $FR-F$  – проверка на адекватность разработанных регрессионных моделей, где  $FR$  – расчетное значение  $F$ -критерия Фишера,  $F$  – табличное значение  $F$ -критерия Фишера;  $r$  – значение коэффициента корреляции между зависимой переменной  $Y$  (потребление электроэнергии) и расчетным значением зависимой переменной  $YR$ .  $\text{Corr}(Y, YR)$ ;  $d$  –

критерий Дарбина-Уотсона, с помощью которого экспериментальные данные по потреблению электроэнергии проверены на наличие автокорреляции («+» автокорреляция во временном ряду экспериментальных данных имеется; «-» автокорреляции во временном ряду нет) [3].

Таблица 1

Результаты оперативного прогнозирования электропотребления с использованием способа 1А (рабочие дни) и проведенного анализа

Дата	Диапазон времени, час	$t^{\circ}\text{C}$	$Y_{\text{ФАКТ.}}$	$Y_{\text{ПРОГНОЗ}}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	$FR-F$	$r$	$d$
03.10.2011	00-01	9	159,35	150,063	9,287	5,82	>	0,851	-
04.10.2011	00-01	7	169,107	163,788	5,319	3,14	>	0,912	-
05.10.2011	00-01	10	168,68	159,846	8,834	5,23	>	0,951	-
06.10.2011	00-01	12	174,026	161,405	12,621	7,25	>	0,995	-
07.10.2011	00-01	15	169,915	171,126	1,211	0,71	>	0,956	-
10.10.2011	00-01	14	153,417	176,746	23,329	15,20	>	0,965	-
11.10.2011	00-01	14	155,255	169,971	14,716	9,47	>	0,917	-
12.10.2011	00-01	17	150,162	156,716	6,554	4,36	>	0,888	-
13.10.2011	00-01	18	135,686	148,095	12,409	9,14	>	0,891	-

Знак «-» в столбце  $d$  показывает отсутствие автокорреляции.

Знак «>» в столбце  $FR-F$  показывает, что расчетное значение  $F$ -критерия Фишера больше табличного значения  $F$ -критерия Фишера, следовательно разработанная математическая модель адекватно отображает экспериментальные данные по потреблению электроэнергии.

Средняя абсолютная ошибка прогноза - 10,47 кВт·ч, а средняя относительная ошибка прогноза  $\varepsilon = 6,70\%$ .

Графики фактических и прогнозных значений электропотребления, рассчитанные способом 1А, показаны на рис. 2 (прогнозирование только по данным рабочих дней).

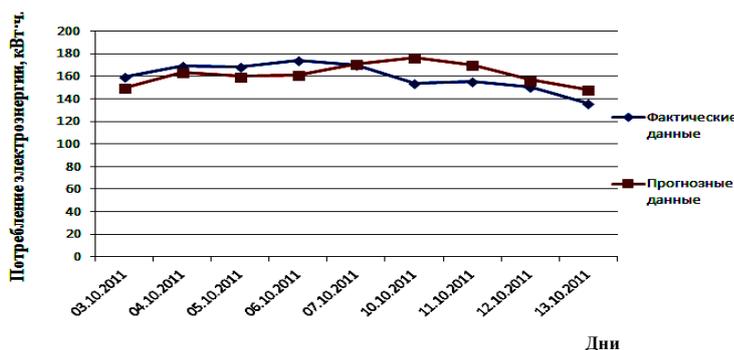


Рис. 2. Графики фактических и прогнозных значений электропотребления, рассчитанные способом 1А (рабочие дни)

**Вывод по способу 1А.** Во всех экспериментах, проводимых по способу 1А (рабочие дни), разработанная математическая модель адекватна, автокорреляция отсутствует, что говорит о пригодности экспериментальных данных потребления электроэнергии для расчета прогнозных оценок.

Аналогично производится оперативное прогнозирование потребления электроэнергии на 21-й день за последующие часовые периоды. В табл. 2 приведены результаты.

Таблица 2

Результаты оперативного прогнозирования с использованием способа 1А на последующие часы (рабочий день) и проведенного анализа

Дата	Диапазон времени, час	$t^{\circ}\text{C}$	$Y_{\text{ФАКТ.}}$	$Y_{\text{ПРОГНОЗ.}}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	$\frac{FR-F}{F}$	$r$	$d$
03.10.2011	00:00-01:00	9	159,35	150,063	9,287	5,82	>	0,851	-
03.10.2011	01:00-02:00	9	146,826	137,448	9,378	6,38	>	0,907	-
03.10.2011	02:00-03:00	8	140,237	131,061	9,176	6,54	>	0,921	-
03.10.2011	03:00-04:00	8	138,157	127,325	10,832	7,84	>	0,883	-
03.10.2011	04:00-05:00	8	138,009	126,522	11,487	8,32	>	0,939	-
03.10.2011	05:00-06:00	8	143,301	133,053	10,248	7,15	>	0,917	-
03.10.2011	06:00-07:00	8	151,279	143,028	8,251	5,45	>	0,964	-
03.10.2011	07:00-08:00	8	170,188	156,656	13,532	7,95	>	0,96	-
03.10.2011	08:00-09:00	8	186,09	168,632	17,458	9,38	>	0,961	-
03.10.2011	09:00-10:00	8	203,729	182,644	21,085	10,34	>	0,956	-

График оперативного прогнозирования потребления электроэнергии на 21-й день за последующие часовые периоды с использованием способа 1А показан на рис. 3 (рабочий день).

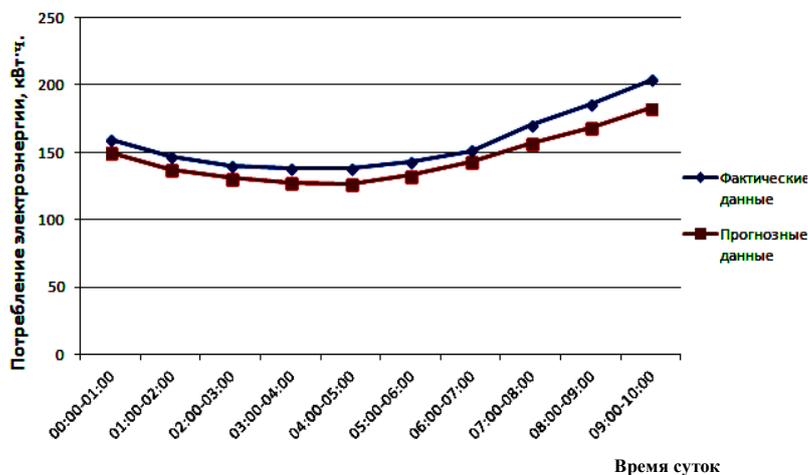


Рис. 3. Графики фактических, прогнозных значений электропотребления на последующие часы (рабочий день) на 3.10.2011 г.

### Способ 1Б

Использование данных фактического электропотребления за 20 предыдущих выходных дней (данные об электропотреблении за субботу и воскресенье вместе).

Результаты расчета прогнозных оценок и проведенного анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты оперативного прогнозирования с использованием способа 1Б  
(выходные дни вместе) (СБ – суббота; ВС – воскресенье) и проведенного анализа

Дата	Диапазон времени, час	$t^{\circ}\text{C}$	$Y_{\text{ФАКТ.}}$	$Y_{\text{ПРОГНОС}}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	$FR-F$	$r$	$d$
15.10.2011 (СБ)	00:00-00:01	12	150,677	165,177	14,5	9,62	>	0,845	-
16.10.2011 (ВС)	00:00-00:01	9	163,293	167,598	4,305	2,63	>	0,83	-
22.10.2011 (СБ)	00:00-00:01	10	180,914	169,209	11,705	6,46	>	0,918	-
23.10.2011 (ВС)	00:00-00:01	9	182,919	179,228	3,691	2,01	>	0,948	-
29.10.2011 (СБ)	00:00-00:01	0	190,758	188,142	2,616	1,37	>	0,953	-
30.10.2011 (ВС)	00:00-00:01	-1	193,118	196,307	3,189	1,65	>	0,966	-
05.11.2011 (СБ)	00:00-00:01	3	192,215	199,078	6,863	3,57	>	0,972	-
06.11.2011 (ВС)	00:00-00:01	-3	194,959	205,342	10,383	5,32	>	0,973	-

Рассмотрим график фактических и прогнозных значений электропотребления (значения рассчитаны по способу 1Б – использовались данные по потреблению электроэнергии за выходные дни – суббота и воскресенье вместе), который показан на рис. 4.

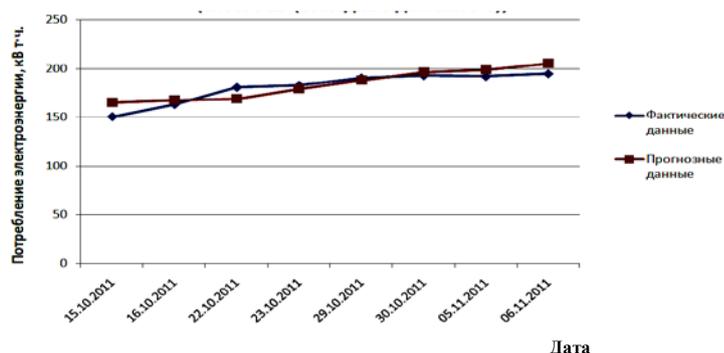


Рис. 4. Графики фактических и прогнозных значений электропотребления (первый способ – только выходные дни – суббота и воскресенье вместе)

**Вывод по способу 1Б.** Во всех проведенных экспериментах (выходные дни вместе) разработанные математические модели адекватные, автокорреляция отсутствует, что говорит о пригодности экспериментальных данных потребления электроэнергии для проведения прогноза. Средняя абсолютная ошибка прогноза составила  $\Delta Y = 7,15$  кВт·ч, а относительная ошибка  $\Delta Y \% = 4,07\%$ .

### Способ 1В

Прогнозирование электропотребления по первому способу, но отдельно как для субботы, так и для воскресенья.

Проведены экспериментальные расчеты прогнозных значений электропотребления отдельно как для субботы, так и для воскресенья. Используются данные фактического электропотребления предыдущих двадцати субботных дней ( $N=20$ ) также за определенный временной интервал – один час и произведен расчет прогнозных оценок на 21-й субботный день за тот же временной интервал – один час.

По методу скользящей матрицы [1,2,4,5] удаляются экспериментальные данные первой строки матрицы  $X$ , а в конец матрицы  $X$  добавляются фактические данные электропотребления, полученные на 21-й день. Далее рассчитывается 22-й день и т.д.

Результаты прогнозирования на субботний день по способу 1В представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты оперативного прогнозирования электропотребления с использованием способа 1В на последующие часы (только субботние дни) и проведенного анализа

Дата	Диапазон времени, час	$t^{\circ}\text{C}$	$Y_{\text{ФАКТ.}}$	$Y_{\text{ПРОГНОЗ.}}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	FR-F	$r$	$d$
26.11.2011	00:00-01:00	-4	238,133	238,053	0,08	0,03	>	0,985	?
26.11.2011	01:00-02:00	-11	224,704	242,445	17,74	7,89	>	0,988	?
26.11.2011	02:00-03:00	-11	218,387	226,285	7,898	3,61	>	0,989	?
26.11.2011	03:00-04:00	0	215,675	208,451	7,224	3,34	>	0,99	?
26.11.2011	04:00-05:00	0	217,044	207,373	9,671	4,45	>	0,987	?
26.11.2011	05:00-06:00	2	219,368	206,333	13,035	5,94	>	0,985	?
26.11.2011	06:00-07:00	1	226,487	214,908	11,579	5,11	>	0,993	?
26.11.2011	07:00-08:00	2	236,745	226,436	10,309	4,35	>	0,995	?
26.11.2011	08:00-09:00	0	248,692	241,546	7,146	2,87	>	0,993	?

Знак «?» в столбце  $d$  означает, что вопрос об отвержении или принятии гипотезы о положительной/отрицательной автокорреляции, либо об её отсутствии, остается открытым (область неопределенности критерия) [3].

Графики фактических и прогнозных значений электропотребления по способу 1В за субботу 26.11.2011 г. представлены на рис. 5.

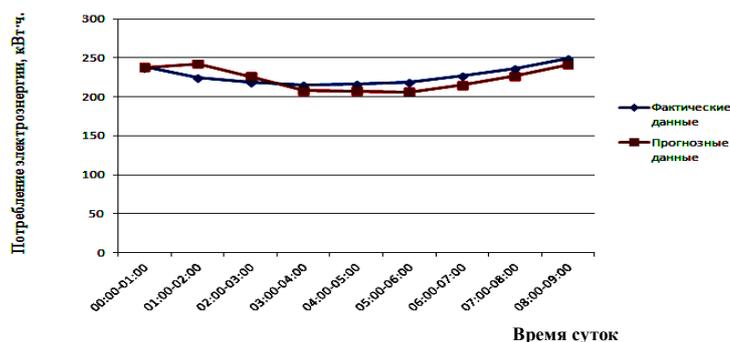


Рис. 5. Графики фактических, прогнозных значений электропотребления по способу 1В за 26.11.2011 г. (суббота)

Проведен экспериментальный расчет на 21-й воскресный день. Результаты прогноза на воскресный день приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты оперативного прогнозирования с использованием способа 1В на последующие часы (воскресенье) и проведенного анализа

Дата	Диапазон времени, час	$t^{\circ}\text{C}$	$Y_{\text{ФАКТ.}}$	$Y_{\text{ПРОГНОЗ}}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	FR-F	$r$	$d$
27.11.2011	00:00-01:00	-1	238,443	236,886	1,557	0,65	>	0,981	-
27.11.2011	01:00-02:00	-4	223,627	229,355	5,728	2,56	>	0,986	-
27.11.2011	02:00-03:00	-4	216,488	220,942	4,454	2,057	>	0,992	-
27.11.2011	03:00-04:00	-3	211,13	209,698	1,432	0,678	>	0,994	-
27.11.2011	04:00-05:00	-2	209,321	206,91	2,411	1,15	>	0,991	-
27.11.2011	05:00-06:00	-4	211,735	207,296	4,439	2,09	>	0,994	?
27.11.2011	06:00-07:00	-4	217,084	218,047	0,963	0,44	>	0,995	-
27.11.2011	07:00-08:00	-4	222,831	224,988	2,167	0,97	>	0,996	-
27.11.2011	08:00-09:00	-4	230,853	231,468	0,615	0,26	>	0,996	-

Рассмотрим графики фактических и прогнозных значений электропотребления по способу 1В за 27.11.2011 г. (воскресенье), (рис. 6).

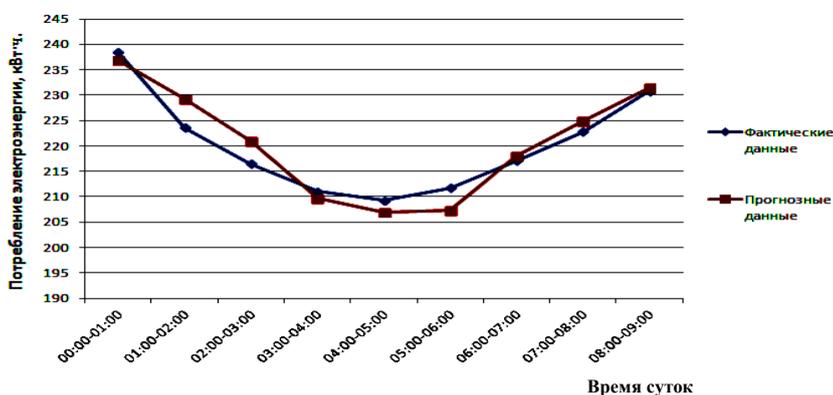


Рис. 6. Графики фактических и прогнозных значений электропотребления за 27.11.2011 г. (воскресенье)

**Вывод по способу 1В.** Из табл. 4 можно сделать вывод, что разработанная модель адекватна, но наличие автокорреляции не отвергается. При этом относительная ошибка прогноза составила  $\Delta Y\% = 4,18\%$ .

Результаты экспериментального расчета, представленные в табл. 5, показывают, что во всех проведенных экспериментах разработанная математическая модель адекватна, автокорреляция в основном отсутствует. Средняя абсолютная ошибка прогноза составила  $\Delta Y = 2,64$  кВт·ч, а относительная ошибка -  $\Delta Y\% = 1,208\%$ .

#### Способ 1Г

Использование экспериментальных данных фактического потребления электроэнергии предыдущих 20 дней за определенный временной интервал «один час» в течение суток (рабочие дни и выходные дни вместе).

В табл. 6 представлены результаты расчета оперативного прогнозирования по способу 1Г.

Таблица 6

Результаты оперативного прогнозирования с использованием способа 1Г и проведенного анализа

Дата	Время, час	$t^{\circ}\text{C}$	$Y_{\text{ФАКТ.}}$	$Y_{\text{ПРОГНОЗ.}}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	$FR-F$	$r$	$d$
21.09.2011	0:00	15	140,262	137,998	2,264	1,614	<	0,551	+
21.09.2011	1:00	15	128,35	128,845	0,495	0,385	<	0,417	+
21.09.2011	2:00	12	123,669	121,787	1,882	1,521	<	0,647	+
21.09.2011	3:00	12	120,58	119,988	0,592	0,490	<	0,619	+
21.09.2011	4:00	12	122,04	121,383	0,657	0,538	<	0,634	+
21.09.2011	5:00	12	124,472	124,646	0,174	0,139	<	0,648	+
21.09.2011	6:00	12	132	132,274	0,274	0,207	<	0,75	-
21.09.2011	7:00	12	143,066	145,681	2,615	1,827	<	0,555	+
21.09.2011	8:00	13	153,185	151,283	1,902	1,241	<	0,471	+
21.09.2011	9:00	16	164,762	161,364	3,398	2,062	<	0,422	+
21.09.2011	10:00	17	165,512	162,274	3,238	1,956	<	0,463	+
21.09.2011	11:00	19	165,368	163,213	2,155	1,303	<	0,386	+
21.09.2011	12:00	19	162,303	161,101	1,202	0,740	<	0,386	+
21.09.2011	13:00	20	161,84	157,326	4,514	2,789	<	0,348	+
21.09.2011	14:00	21	162,233	157,556	4,677	2,882	<	0,427	+
21.09.2011	15:00	22	165,735	159,918	5,817	3,509	<	0,538	+
21.09.2011	16:00	21	159,866	159,342	0,524	0,327	<	0,535	+
21.09.2011	17:00	21	156,328	156,896	0,568	0,363	<	0,547	+
21.09.2011	18:00	20	162,676	165,002	2,326	1,429	<	0,708	+
21.09.2011	19:00	17	190,273	193,954	3,681	1,934	>	0,857	-
21.09.2011	20:00	16	204,455	202,84	1,615	0,789	>	0,854	-
21.09.2011	21:00	14	200,103	198,051	2,052	1,025	<	0,717	+
21.09.2011	22:00	12	183,8	182,539	1,261	0,686	<	0,767	-
21.09.2011	23:00	13	162,275	157,339	4,936	3,041	<	0,74	+

Знак «+» в столбце  $d$  показывает присутствие автокорреляции.

Графики фактических и прогнозных значений электропотребления по способу 1Г показаны на рис. 7.

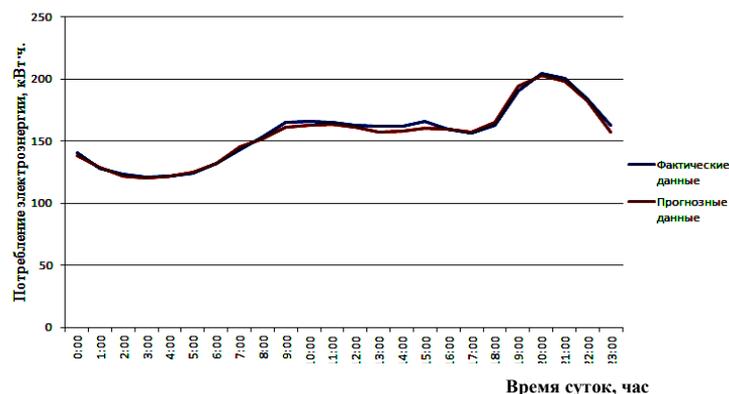


Рис. 7. Графики фактических и прогнозных значений электропотребления (рабочие дни и выходные дни вместе)

**Вывод по способу 1Г.** При прогнозировании способом 1Г разработанные модели в большинстве случаев по F-критерию Фишера являются неадекватными, что свидетельствует о том, что надежность и качество таких моделей низкая. Присутствует автокорреляция во временном ряду данных, что говорит о непригодности экспериментальных данных для проведения прогнозирования. Качество прогноза потребления электроэнергии по величине коэффициента корреляции между фактическими и прогнозными данными о потреблении электроэнергии в среднем составило  $Corr(Y, Y_P) = 0,583$ , при критическом значении – 0,468. При этом наблюдается точный прогноз, так как абсолютная ошибка прогноза составила  $\Delta Y = 1,356$  кВт·ч, а относительная ошибка  $\Delta Y\% = 1,367\%$ . Средняя ошибка прогноза составила 1,36 %.

Вследствие неадекватности регрессионных моделей и присутствия автокорреляции авторами решено было их не использовать при прогнозировании электропотребления.

### Способ 2

Использование экспериментальных данных электропотребления за предыдущие 20 часов в пределах одних суток.

Прогноз производится на 21-й час. Результаты реализации способа 2 представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты оперативного прогнозирования с использованием способа 2 и проведенного анализа

Дата	Время, час	$t^{\circ}C$	$Y_{ФАКТ.}$	$Y_{ПРОГНОЗ.}$	$ \Delta Y $	$\varepsilon, \%$	$FR-F$	$r$	$d$
21.09.2011	20:00-21:00	16	204,46	179,64	24,81	12,13	>	0,88	+
21.09.2011	21:00-22:00	14	200,1	224,84	24,738	12,363	>	0,98	-
21.09.2011	22:00-23:00	12	183,8	225,76	41,962	22,83	>	0,96	-
21.09.2011	23:00-24:00	13	162,28	197,31	35,038	21,59	>	0,93	-
22.09.2011	00:00-01:00	12	143,31	174,49	31,17	21,75	>	0,89	-
22.09.2011	01:00-02:00	14	131,12	118,26	12,863	9,80	>	0,88	-
22.09.2011	02:00-03:00	11	127,13	121,93	5,197	4,08	>	0,89	-
22.09.2011	03:00-04:00	11	124,16	100,16	23,997	19,328	>	0,82	-
22.09.2011	04:00-05:00	11	124,17	88,821	35,35	28,46	>	0,89	-
22.09.2011	05:00-06:00	11	127,56	89,336	38,226	29,96	>	0,89	-
22.09.2011	06:00-07:00	11	135,03	91,984	43,05	31,88	>	0,85	-
22.09.2011	07:00-08:00	10	146,39	95,866	50,527	34,515	>	0,82	+
22.09.2011	08:00-09:00	13	157,01	145,27	11,748	7,48	<	0,74	+
22.09.2011	09:00-10:00	16	166,87	217,62	50,744	30,40	<	0,806	-
22.09.2011	10:00-11:00	17	169,76	195,99	26,234	15,45	<	0,808	-
22.09.2011	11:00-12:00	19	170,21	209,83	39,62	23,27	>	0,83	-
22.09.2011	12:00-13:00	20	162,86	208,81	45,951	28,21	<	0,807	+
22.09.2011	13:00-14:00	20	162,1	203,84	41,742	25,75	<	0,77	+
22.09.2011	14:00-15:00	21	161,1	198,42	37,32	23,16	<	0,75	+
22.09.2011	15:00-16:00	22	161,04	172,92	11,88	7,37	>	0,88	-
22.09.2011	16:00-17:00	22	157,79	178,96	21,17	13,41	>	0,87	-
22.09.2011	17:00-18:00	21	154,16	194,03	39,874	25,86	>	0,88	-
22.09.2011	18:00-19:00	19	157,8	195,46	37,66	23,86	<	0,77	+

Из табл. 7 можно сделать следующий вывод: местами наблюдается неадекватность модели и автокорреляция во временном ряду экспериментальных данных.

При этом абсолютная ошибка прогноза составила 31,27 кВт·ч, а относительная ошибка прогноза – 20,56%, что говорит о некорректности прогнозных оценок электропотребления способом 2.

График к табл. 4 показан на рис. 8.

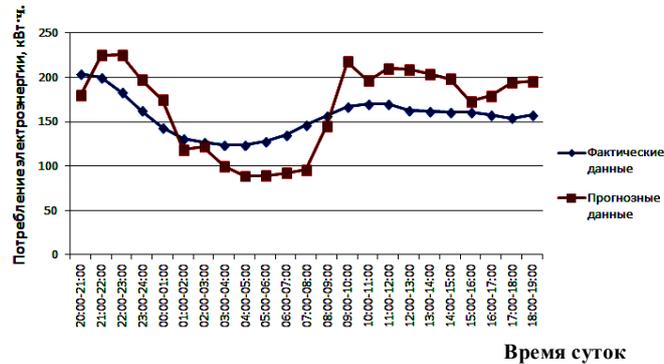


Рис. 8. Графики фактических и прогнозных значений электропотребления по способу 2

**Вывод по способу 2.** В некоторых разработанных регрессионных моделях наблюдается неадекватность модели экспериментальным данным. Имеется автокорреляция во временном ряду. Относительная ошибка прогноза составила 20,56%, что говорит о неэффективности прогнозных оценок.

### Вывод

Итоги проведенного исследования и системного анализа качества и поведения регрессионных моделей в некоторых способах оперативного прогнозирования электропотребления представлены в табл. 8.

Таблица 8

Итоговая таблица результатов оперативного прогнозирования электропотребления несколькими способами

Способ	$ \overline{\Delta Y} $	$\bar{\varepsilon}, \%$	FR -F	$\bar{r}$	$d$	
Способ 1А	10,47	6,70	>	0,925	-	
Способ 1Б	7,15	4,07	>	0,925	-	
Способ 1В	Сб	9,40	4,18	>	0,98	?
	Вс	2,64	1,208	>	0,99	-/?
Способ 1Г	2,20	1,36	>/ <	0,58	+/-	
Способ 2	31,27	20,56	>/ <	0,85	+/-	

В результате проведенного исследования и анализа авторами выявлено, что оптимальными способами оперативного прогнозирования потребления электроэнергии из рассматриваемых являются способы 1А и 1Б для рабочих дней и выходных соответственно.

## Summary

*Developed new and useful regression models are used to predict the power consumption. An experimental analysis of the quality and behavior of regression models in several methods of the operational forecasting of electricity consumption. Optimal method operational forecasting electricity.*

*Key words: Method of sliding MATRIX, analysis of experimental data, prediction of electric energy consumption, mathematical statistics.*

## Литература

1. Алкацев М.И., Дзгоев А.Э., Бетров М.С. Исследование и разработка метода прогнозирования потребления электроэнергии в системе управления электроснабжения региона. // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. №5-6.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2013614024. «Скользкая матрица как метод статистического анализа динамических рядов» / А.М. Кумаритов, М.И. Алкацев, А.Э. Дзгоев, М.С. Бетров, 2013.

3. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2011613131. Экспертная система «Математические расчёты краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии для электrorаспределительных сетевых компаний» / А.М. Кумаритов, М.И. Алкацев, А.Э. Дзгоев, М.С. Бетров и др., 2011.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. 2011618576. «Математические расчёты краткосрочного программирования потребления электроэнергии для предприятий» / А.М. Кумаритов, М.И. Алкацев, А.Э. Дзгоев, М.С. Бетров, 2011.

*Поступила в редакцию*

*30 декабря 2014 г.*

**Кумаритов Алан Мелитонович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Power74@yandex.ru.

**Дзгоев Алан Эдуардович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Dzgoev\_Alan@mail.ru.

**Гасиева Диана Казбековна** – магистр кафедры «Экономика» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Brasildream@yandex.ru.

**Нартикова Елена Николаевна** – аспирантка кафедры «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Jersey-01@mail.ru.

**Бабочиев Олег Рамазанович** – аспирант кафедры «Информационные системы в экономике» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного технологического университета) СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ. E-mail: Babochiev\_Oleg@mail.ru.