

УДК 621.31

UDC 621.31

05.00.00 Технические науки

Engineering sciences

**РЕГРЕССИОННЫЕ МЕТОДЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**REGRESSIVE METHODS OF
PROGNOSTICATION OF THE LOAD-GRAPH OF
ELECTRICAL EQUIPMENT**

Зуева Виктория Николаевна
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код: 4635-3444
victoria_zueva@list.ru

Zueva Victoria Nicolaevna
Cand. Tech. Sci., associate professor
RSCI SPIN-code: 4635-3444
victoria_zueva@list.ru

Армавирский механико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Армавир, Россия

Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of FSBEU HE Kuban State Technological University, Armavir, Russia

В статье рассматривается применение регрессионных методов прогнозирования детерминированных временных рядов на примере графика нагрузки. Прогнозы графика нагрузки электрооборудования – это требования потребителей и возможности их обеспечения в ЭЭС. Все прогностические задачи решаются на основе моделей прогнозирования. Потребление электроэнергии происходит на электронном уровне, складировать электроэнергию в промышленных масштабах нельзя, потребление зависит от множества случайных факторов. Поэтому в основном применяется сочетание математических и эвристических моделей. Это повседневная задача энергосистем, и от ее решения зависят многие технические, экономические и коммерческие решения по управлению режимами. Разработка методов прогнозирования электропотребления в системе принятия решений на сегодняшний день является одним из приоритетных направлений в электроэнергетике России. Поэтому работы, связанные с разработкой методов и алгоритмов прогнозирования электропотребления в электроэнергетике, актуальны

The article discusses the use of regression methods of forecasting the deterministic time series on the example of the load curve. Forecasts of the load curve of electrical equipment are the demands of consumers and their security in EPS. All predictive tasks are based on prediction models. Electricity consumption is happening on an electronic level; storing electricity on an industrial scale is impossible, the consumption depends on many random factors. Therefore, generally, we use a combination of mathematical and heuristic models. This is the daily task of power systems and many technical, economic and commercial decisions on the management regimes depend on its solutions. Development of methods of forecasting of the energy consumption in the system of decision-making today is one of the priority directions in the Russian power industry. Therefore, the work associated with the development of methods and algorithms of forecasting of power consumption in the power sector is still relevant

Ключевые слова: ГРАФИК НАГРУЗКИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАФИКА НАГРУЗКИ, РЕГРЕССИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Keywords: LOAD GRAPH, LOAD CURVE FORECASTING, REGRESSION FORECASTING METHODS

Doi: 10.21515/1990-4665-126-008

Прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы является важной задачей стратегического управления режимами энергосистем. На основе прогноза нагрузок определяют количество и мощность генерирующих источников, работающих в базовом и пиковом режиме,

состав основного технологического оборудования, параметры характерных режимов. По прогнозу нагрузок также находят оптимальные режимы энергосистемы, выбирают состав работающего оборудования и распределяют резервы, рассматривают заявки на ремонт оборудования и дают соответствующее разрешение на его проведение. Прогнозирование электрической нагрузки обеспечивает основную исходную информацию для принятия решений при управлении электроэнергетическими системами в процессе планирования их нормальных электрических режимов. Краткосрочное и оперативное прогнозирование графиков нагрузки электропотребления является на сегодняшний день одним из наиболее важных направлений исследований в электроэнергетике [2, 3, 4].

Задача прогнозирования электропотребления состоит в анализе объективных факторов, влияющих на изменение нагрузки, и расчет будущих графиков нагрузки электропотребления [2, 3].

Основными элементами прогноза электрических нагрузок потребителей энергии являются следующее: графики активных и реактивных нагрузок для различных временных циклов: суточных, сезонных, годовых; потребление электроэнергии за определённые периоды в функции времени; основные характеристики графиков нагрузок за заданные периоды времени в перспективе.

Современные методики построения прогнозных моделей базируются на статистическом анализе и моделировании временных рядов [1, 2, 4].

Любое потребление электроэнергии описывается временным рядом, представленное мгновенными значениями потребляемой мощности в дискретные моменты времени. Модели данного типа обладают достаточно высокой степенью адекватности для решения многих задач прогнозирования процессов в электроэнергетике и не только.

Для анализа временных рядов выделяют следующие компоненты [1, 2]:

- тренд (Т) – плавно изменяющаяся компонента, описывающая влияние долговременных факторов;
- сезонная компонента (S) – циклические колебания изучаемого процесса;
- случайная составляющая (ε) – компонента, показывающая влияние случайных факторов.

Указанная изменчивость поведения электрической нагрузки, как правило, проявляет определенные устойчивые закономерности, позволяющие создать и использовать методики физико-математического представления электрической нагрузки электрооборудования.

Таблица 1 - Факторы, влияющие на график нагрузки электропотребления

Факторы	Социально-экономические	Метеорологические
Циклические	1) Время (час суток); 2) День недели; 3) Тип дня недели (рабочий, выходной, праздничный, предпраздничный).	1) Температура воздуха; 2) Продолжительность светового дня; 3) Время восхода и захода солнца.
Естественные	1) Индивидуальная производственная программа работы крупных промышленных объектов; 2) Продолжительность отопительного периода; 3) Использование альтернативных источников электроснабжения; 4) Ввод в эксплуатацию крупных энергоемких объектов.	1) Атмосферное давление; 2) Относительная влажность воздуха; 3) Направление ветра; 4) Скорость ветра; 5) Облачность; 6) Осадки; 7) Горизонтальная дальность видимости.
Случайные	1) Аварии на крупных промышленных объектах	1) Резкие кардинальные изменения погодных условий (наиболее влияющие: температура воздуха и осадки)

В контексте спроса на энергию краткосрочный прогноз нагрузки определяется как объединенная нагрузка, прогнозируемая в ближайшем

будущем для различных частей сети (или сети в целом) [4, 5]. В этом контексте краткосрочным считается период от 1 до 24 часов. В некоторых случаях можно установить период в 48 часов. Краткосрочный прогноз нагрузки - распространенный прогноз для рабочего сценария использования сети. Краткосрочный прогноз нагрузки может использоваться для решения следующих задач [2, 4]:

- балансировка спроса и предложения;
- поддержка торговли энергией;
- рыночная деятельность (назначение цены на электроэнергию);
- рабочая оптимизация сети;
- регулирование спроса;
- прогнозирование пикового спроса;
- управление спросом;
- балансировка нагрузки и предотвращение перегрузки;
- обнаружение сбоев и аномалий;
- сокращение (выравнивание) пиков.

Модели краткосрочного прогноза преимущественно основаны на недавних (за последний день или неделю) сведениях об энергопотреблении. В качестве основного прогностического фактора используется прогнозируемая температура. Сегодня получение точного прогноза температуры на час и даже на сутки вперед не составляет особой проблемы. Эти модели менее чувствительны к сезонным изменениям или долгосрочным тенденциям потребления.

Для краткосрочных прогнозов зачастую создается большой объем вызовов прогнозов (запросов на обслуживание), так как они вызываются каждый час, а в некоторых случаях и чаще. Кроме того, нередко выполняется внедрение, при котором каждая отдельная подстанция или трансформатор представлены в качестве автономных моделей. Вследствие этого объем запросов на прогнозирование еще больше возрастает.

Традиционными статистическими методами прогнозирования электропотребления являются: метод авторегрессии, метод сезонных кривых, факторный анализ и другие [2, 3, 4, 5].

При применении статистических методов можно выделить следующие этапы процесса прогнозирования: формирование выборки статистической информации из массива данных, приведение данных к однородным свойствам, группировка данных по структурным свойствам процесса, изучение динамики процесса, выбор периода ретроспекции, сглаживание информации, ввод дополнительной информации для повышения достоверности модели [1, 2].

Рассмотрим задачу оперативного планирования режима системы и электростанций с упреждением на сутки, то есть прогнозов. Для построения среднесуточного прогноза необходимо определить среднесуточное потребление электроэнергии. Для этого усредняем потребление энергии за сутки.

В таблице 2 приводятся исходные данные для решения поставленной задачи.

Таблица 2 - Среднесуточное потребление электроэнергии

Номер дня	День недели	Дата	Потребление, МВт
1	2	3	4
1	Пятница	14.01	1829,492465
2	Суббота	15.01	1722,989011
3	Воскресение	16.01	1699,988691
4	Понедельник	17.01	1831,187635
5	Вторник	18.01	1880,372378
6	Среда	19.01	1892,267097
7	Четверг	20.01	1925,375369
8	Пятница	21.01	1958,766057
9	Суббота	22.01	1936,218318
10	Воскресение	23.01	1951,729513
11	Понедельник	24.01	2118,312169
12	Вторник	25.01	2137,992378
13	Среда	26.01	1925,401385
14	Четверг	27.01	2111,190285
15	Пятница	28.01	2062,496142
16	Суббота	29.01	1989,710899
17	Воскресение	30.01	1949,275617
18	Понедельник	31.01	2038,732712
19	Вторник	1.02	2084,682696
20	Среда	2.02	2101,127922
21	Четверг	3.02	2102,40137
22	Пятница	4.02	2095,164482
23	Суббота	5.02	1991,990735
24	Воскресение	6.02	1932,226608
25	Понедельник	7.02	2091,368708
26	Вторник	8.02	2040,633189
27	Среда	9.02	2004,328023
28	Четверг	10.02	1987,542783
29	Пятница	11.02	1975,108093
30	Суббота	12.02	1886,280373
31	Воскресение	13.02	1866,240733
32	Понедельник	14.02	2029,839981

Исключим выходные дни и праздники, поскольку потребление в эти дни нехарактерно.

Изобразим на графике зависимость изменения мощности с учетом выходных дней, добавим линию тренда – устойчивого изменения. Величина достоверности аппроксимации довольно мала $R^2 = 0,197 < 0,5$ (рисунок 1), что означает малую вероятность правильного прогноза.

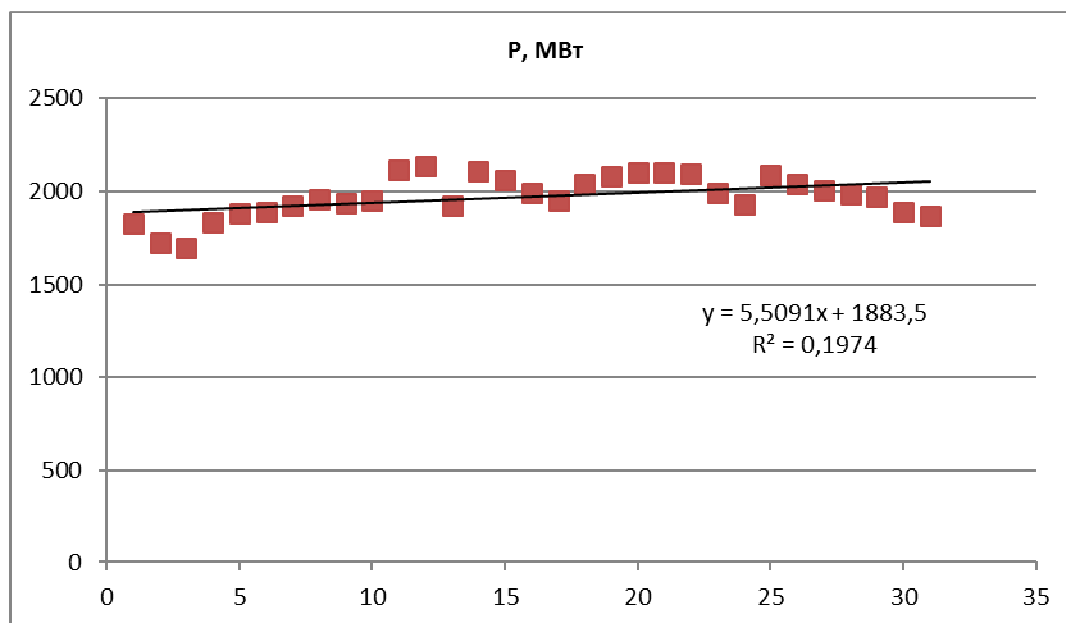


Рисунок 1 - Среднесуточная мощность с учетом выходных

Исключим из графика нагрузки потребление в выходные дни. Величина достоверности аппроксимации довольно мала $R^2 = 0,274 < 0,5$, что так же означает малую вероятность правильного прогноза. Результат показан на рисунке 2.

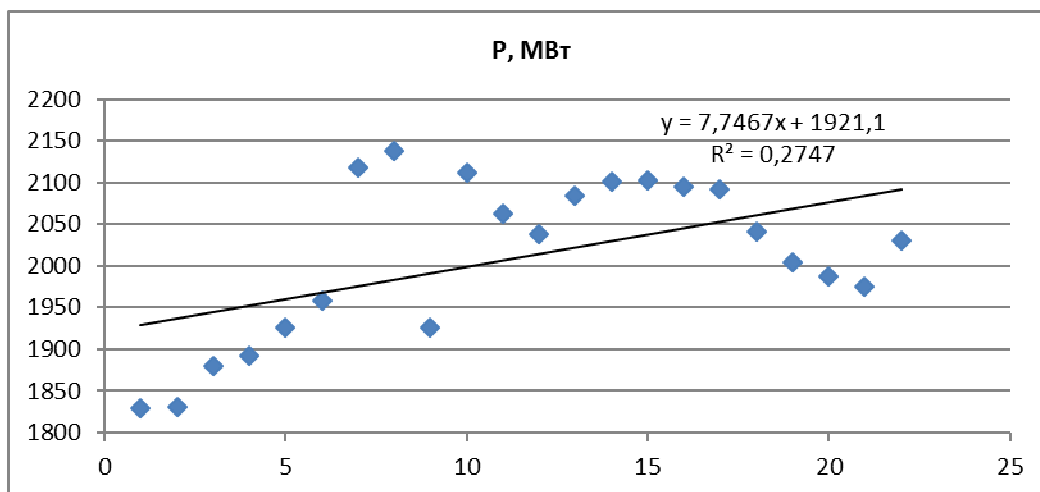


Рисунок 2 - Среднесуточная мощность без учета выходных

Исключим выбросы, то есть сгладим ряд данных. Для этого зададим диапазон допустимых отклонений от модели, которая будет подбираться, обычно он составляет 5-10 %, но в работе был принят 2%. Результат показан на рисунке 3.

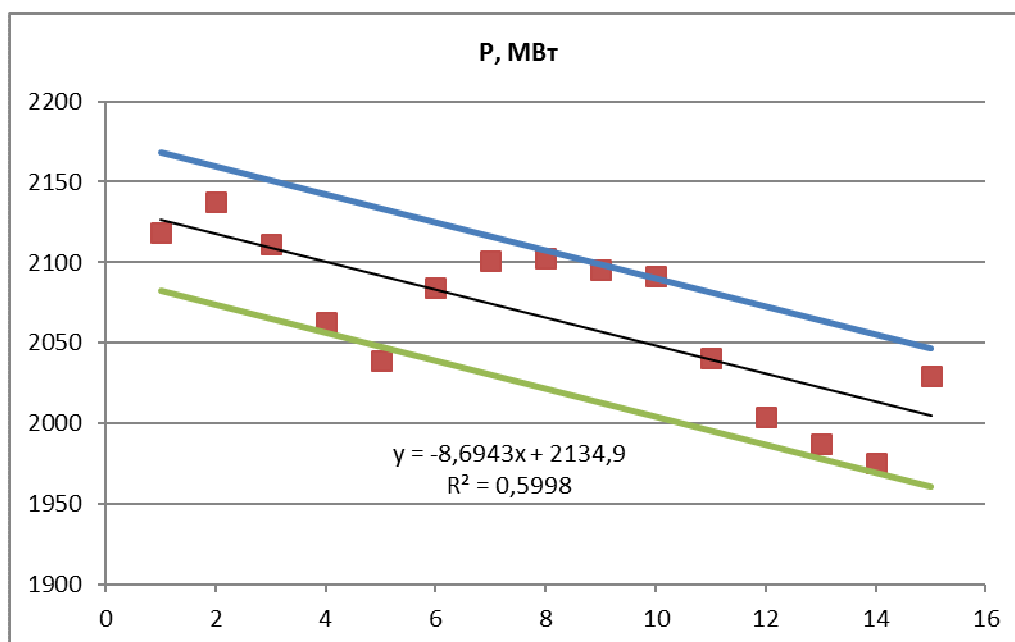


Рисунок 3 - Среднесуточная мощность без выходных

Визуально видно, что модель прогнозирования на рисунке 3 имеет противоположную динамику изменения мощности (убывает), чем на рис.1 и на рис. 2 (возрастает). Для дальнейшего построения модели прогноза оставим выбранные значения (15 дней – с 24.01 по 14.02 за исключением 26.01 и выходных дней), т.к. они ближайšie ко дню, на который необходимо сделать прогноз.

Можно определить следующие погрешности модели (результаты занесены в таблицу 3):

- Абсолютная погрешность: $\Delta = P_{тек.} - P_{тренд}$, МВт;

- Средняя погрешность: $\Delta_{ср.} = \frac{\sum \Delta_i}{i}$, МВт;

- Максимальная погрешность: $\Delta_{макс.} = \max\{\Delta_1, \Delta_2.. \Delta_i\}$, МВт;

- Среднеквадратичное отклонение: $СКО = \sqrt{\sigma^2}$, где σ - дисперсия Δ_i .

Уравнение модели соответствует линии тренда:
 $y = -8,694 \cdot n + 2134.$

Таблица 3 - Погрешности модели прогноза

	Рпотр. МВт	Ртренд, МВт	Отклонение, МВт	Допустимые отклонения	
1	2118,312169	2125,306	-6,993830607	2098,829394	2151,782606
2	2137,992378	2116,612	21,38037823	2090,135394	2143,088606
3	2111,190285	2107,918	3,272284729	2081,441394	2134,394606
4	2062,496142	2099,224	-36,72785793	2072,747394	2125,700606
5	2038,732712	2090,53	-51,79728821	2064,053394	2117,006606
6	2084,682696	2081,836	2,846696025	2055,359394	2108,312606
7	2101,127922	2073,142	27,98592206	2046,665394	2099,618606
8	2102,40137	2064,448	37,95336973	2037,971394	2090,924606
9	2095,164482	2055,754	39,41048212	2029,277394	2082,230606
10	2091,368708	2047,06	44,30870829	2020,583394	2073,536606
11	2040,633189	2038,366	2,267188883	2011,889394	2064,842606
12	2004,328023	2029,672	-25,34397673	2003,195394	2056,148606
13	1987,542783	2020,978	-33,4352169	1994,501394	2047,454606
14	1975,108093	2012,284	-37,17590674	1985,807394	2038,760606
15	2029,839981	2003,59	26,24998108	1977,113394	2030,066606
Ср.погр.	26,5				
Макс. Погр., МВт	51,8				
СКО	50,2				

Теперь определим среднесуточную мощность на прогнозный день. Для этого экстраполируем модель (линию тренда) и спрогнозируем мощность на 11-й день: $R_{ож}(t+1) = 1994,896$ МВт.

Далее необходимо определить почасовую мощность. Это осуществляется следующим образом: по всем выбранным дням (n) рассчитывается среднее потребление для каждого часа (i):

$$P_{i, \text{среднепочасовая}} = \frac{\sum_{i=1}^{15} P_i}{15}, \text{ МВт}$$

Определим среднее потребление в час в относительных единицах:

$$P_{\text{ср на час}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} P_{\text{ср на час}}}{24}, \text{ МВт}$$

$$P_{\text{ср на час}}^* = \frac{P_{i, \text{среднепочасовая}}}{P_{\text{ср на час}}}, \text{ о.е.}$$

Таким образом, для прогнозирования потребления по часам:

$$P_{i, \text{среднесуточная}} = P_{\text{ср на часу}}^* * P_{n+1}, \text{ МВт}$$

В таблице 4 приводится среднесуточный прогнозный график нагрузки.

Таблица 4 - Среднесуточный прогнозный график нагрузки, МВт

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1780,95	1694,65	1659	1647,2	1648,1	1670,95	1762,77	1944,5	2092,2	2161,3	2187,97	2199
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2168,5	2141,8	2134,6	2119,44	2115,1	2145,9	2218,88	2209,28	2139,8	2096,6	2037,7	1901,3

Представим графически график нагрузки по прогнозируемым данным. График приводится на рисунке 4.

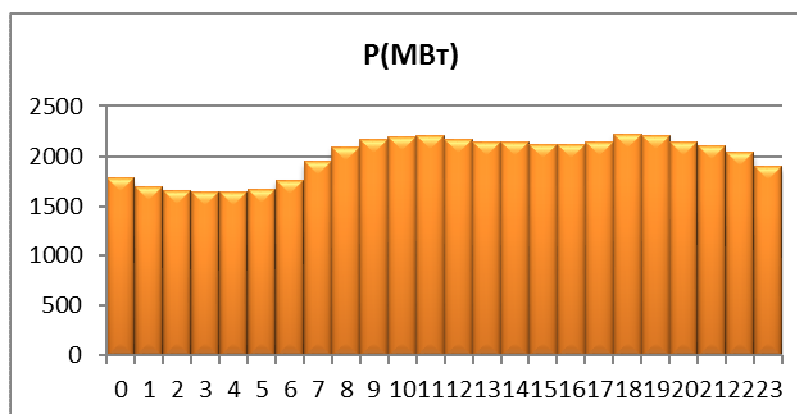


Рисунок 4 - Прогноз среднесуточного графика потребления в МВт

В результате исследования построена регрессионная модель прогнозирования $P_{ож}(t)$ на основе ретроспективных данных (месяц до дня прогноза), то есть была учтена тенденция потребления прошлого. При этом учитывались некоторые особенности нехарактерная нагрузка в выходные дни и праздники. Необходимо внести поправку на температуру, поскольку изменение температуры влияет на поведение потребителя.

Величина прогноза $P_{ож}(t+1)$ изменяется в зависимости от многих случайных факторов, которые могут отличаться от тех, по которым составлялась модель $P_{ож}(t)$. Анализ модели прогнозирования показал, что точность прогноза высока, так, относительная погрешность не превышает 5 процентов, а в отдельных часах и 1 процента.

Литература

1. Зуева В.Н. Нейросетевое прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы. / В.Н. Зуева // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2015. Т. 8. С. 286-290.
2. Зуева В.Н., Никитина Ю.Ю. Анализ методов прогнозирования графиков нагрузки электрооборудования / В.Н. Зуева, Ю.Ю. Никитина // Сборник докладов победителей и лауреатов XXII студенческой научной конференции АМТИ 2016. С. 119-122.
3. Зуева В.Н., Белозерская Т.Ю. Расчет потерь электроэнергии в силовом трансформаторе / В.Н. Зуева, Т.Ю. Белозерская // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2015. Т. 8. С. 116-120.
4. Соловьева И.А. Прогнозирование электропотребления с учетом факторов технологической и рыночной среды / И.А. Соловьева, А.П. Дзюба // Научный диалог. – 2013. – №7(19).
5. Казаринов Л.С. Метод прогнозирования электропотребления промышленного предприятия / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2014. – Т. 14, №1. – С. 5-13.

References

1. Zueva V.N. Nejrosetevoe prognozirovanie grafikov nagruzki jenergosistemy. / V.N. Zueva // Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal Koncept. 2015. T. 8. S. 286-290.
2. Zueva V.N., Nikitina Ju.Ju. Analiz metodov prognozirovanija grafikov nagruzki jelekthrooborudovanija / V.N. Zueva, Ju.Ju. Nikitina // Sbornik dokladov pobeditelej i laureatov XXII studencheskoj nauchnoj konferencii AMTI 2016. S. 119-122.
3. Zueva V.N., Belozerskaja T.Ju. Raschet poter' jelektrojenergii v silovom transformatore / V.N. Zueva, T.Ju. Belozerskaja // Nauchno-metodicheskij jelektronnyj zhurnal Koncept. 2015. T. 8. S. 116-120.
4. Solov'eva I.A. Prognozirovanie jelektropotreblenija s uchetom faktorov tehnologicheskoi i rynochnoi sredy / I.A. Solov'eva, A.P. Dzjuba // Nauchnyj dialog. – 2013. – №7(19).
5. Kazarinov L.S. Metod prognozirovanija jelektropotreblenija promyshlennogo predpriyatija / L.S. Kazarinov, T.A. Barbasova i dr. // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Komp'juternye tehnologii, upravlenie, radiojelektronika. – 2014. – T. 14, №1. – S. 5-13.