

ЭНЕРГЕТИКА

М. С. МКРТЧЯН

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ МЕТОДЕ  
ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Эффективное оперативное функционирование системы энергоснабжения тесно связано с достоверностью прогнозирования нагрузок энергосистемы. При методах прогнозирования нагрузок, опирающихся на связь спроса электроэнергии с погодными условиями, существуют трудности и определенная доля ошибки в предсказании погоды. Следовательно, будет справедливым принять, что прогнозирование электрических нагрузок энергосистемы на основе предсказанной погоды приведет к возможному получению двойной ошибки [1]. При оперативном управлении современными энергосистемами требуется простой и достаточно точный метод прогнозирования нагрузки. Этим условиям удовлетворяют методы прогнозирования нагрузок по предыдущим данным. Но и при этих методах, в частности, методе весовых коэффициентов, достоверность прогнозирования остается одним из важных вопросов, которому уделяется особое внимание в процессе предсказания.

В данной статье предлагается новый метод прогнозирования электрических нагрузок энергосистем с помощью весовых коэффициентов. Результаты, полученные предлагаемым методом, сравниваются с результатами известного метода, изложенного в [4].

*Постановка задачи.* Поскольку основная часть спроса на электроэнергию имеет тенденцию повторяться каждые 24 ч, становится возможным рассматривать временной ряд каждого дня, как один из членов множества временных рядов [1]. Каждый член этого множества является нестационарным процессом [2]. Однако, при рассмотрении нескольких членов множества, суточные графики в сечении одного часа проявляют достаточную стационарность, что позволяет предсказать предстоящий суточный график с использованием метода весовых коэффициентов.

В [4] при прогнозировании вышеуказанным методом предусматривается, что более ранние сутки несут меньшую информацию о возможном изменении процесса в будущем, чем ближайшие сутки. Однако, очевидно, что для понедельника, субботы и воскресенья последние ряды из множества временных рядов не всегда являются носителями наибольшей информации. Возникает необходимость разрабатывать способ правильного определения дней, содержащих в себе более полную информацию о состоянии системы, ввиду чувствительной зависимости точности прогнозирования от используемых дней из предыстории.

*Решение задачи и пример.* При прогнозировании нагрузок энергосистемы по методу весовых коэффициентов важно определить оптимальное количество дней предыстории. В [1] оно предлагается от семи до девяти суток.

Исследования суточных графиков нагрузок Армянской Энергосистемы по сечениям одного часа, результатом которых являются нормированные корреляционные функции активных мощностей по времени, показывают, что корреляционные функции достигают наибольших значений при  $\tau = 7$  дней, далее при  $\tau = 1; 2$  и т. д.

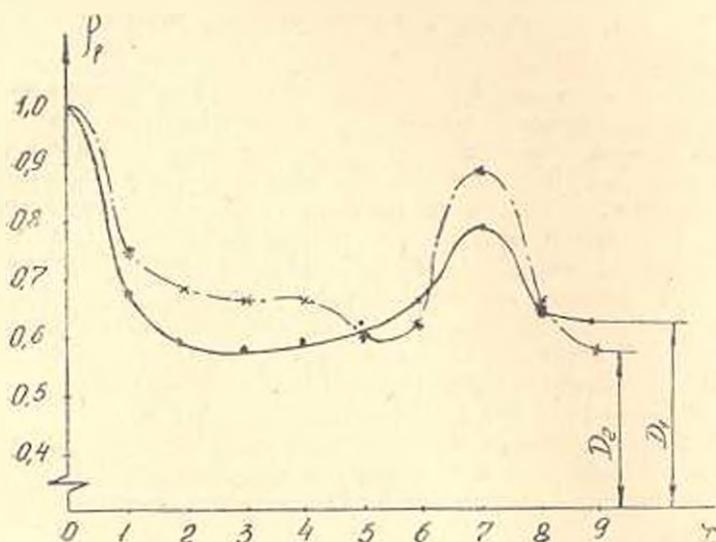


Рис. 1 Нормированная корреляционная функция нагрузок энергосистемы: — 19 часов I кв. 1972 г.; - - - 9 часов IV кв. 1972 г.

Значит, оптимальное количество предыстории  $n$  равно семи суткам, и что особенно важно,  $(n-6)$ -й день из динамического статистического ряда, который является началом предыстории, больше содержит в себе информации о состоянии системы, чем остальные непосредственно предшествующие дни. Следовательно, можно отметить, что основная часть нагрузок имеет тенденцию повторяться не только через каждые 24 часа, но и через неделю.

Однако проведенные исследования показывают, что в течение года часто бывают случаи, когда непосредственно предшествующий день ( $n$ -ый член динамического статистического ряда) больше содержит в себе информации о состоянии системы, чем  $(n-6)$ -й день.

А именно для ночного времени, начиная с 1 по 7 часов, корреляционные функции достигают наибольших значений при  $\tau = 1, 2$ , т. е. для предстоящего дня предшествующие первые дни содержат в себе больше информации, чем остальные дни предыстории.

Это объясняется тем, что большинство носителей нагрузок — промышленные предприятия — имеют двухсменный режим работы.

Возникает необходимость сформулировать критерии с точки зрения наибольшего содержания информации об активных нагрузках в отношении  $n$ -го или  $(n-6)$ -го дней предыстории. С этой целью рассматривается временной ряд активных мощностей неполных дней продолжительностью с 8 по 24 часов в течение года с намерением выявить характер изменения нагрузок на указанный период. Принимая оператор математического ожидания для каждого месяца  $M[P(t_n)]$ , сглаживаем временной ряд. Из полученной кривой видно, что значения активных мощностей по месяцам плавно уменьшаются, достигая своего минимума не в июне, как это имеет место для полных дней, а в июле, что соответствует пикну отпусков трудящихся, затем плавно увеличивается.

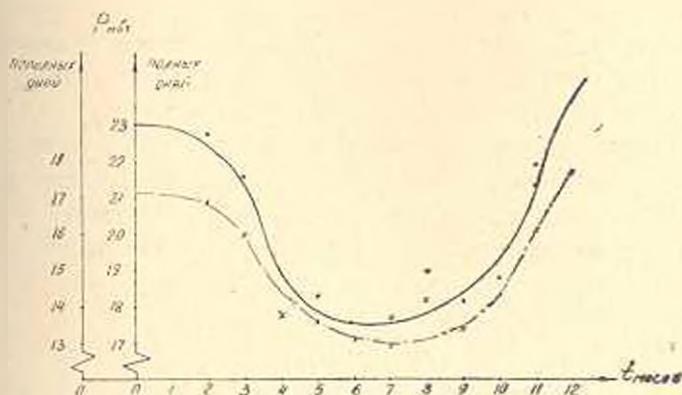


Рис. 2. Сезонное изменение нагрузок энергосистемы:  
— кривая полных дней; - - - кривая неполных дней

Принимая во внимание то обстоятельство, что основная часть нагрузок приходится на двухсменный режим работы, можно руководствоваться кривой активных мощностей неполных дней.

Характер изменения нагрузок по месяцам показывает, что в динамическом статистическом ряду искомым днем [ $n$ -й или  $(n-6)$ -й], содержащий в себе больше информации, зависит от периода года и суммарной нагрузки неполного дня

$$\sum P = \sum_{h=8}^{24} P(h).$$

Так, если прогнозируемая величина  $P_{t,m}^*(h, t_n)$  по месяцу находится в интервале с января по июль, т. е.  $t_n \in T_2$  [где  $T_2 = 1, 2, \dots, 7$  (месяцы года)], а  $h \in T_1$  [где  $T_1 = 1, 2, \dots, 24$  (часы дня)], то при выполнении условия  $\sum P_{n-6} < \sum P_n$   $(n-6)$ -й день в динамическом статистическом ряду будет содержать в себе больше информации, чем  $n$ -й день. При невыполнении этого условия носителем наибольшей информации о состоянии системы будет  $n$ -й день данного ряда.

Однако вышензложенное условие нарушается в случае прогнозирования на понедельник, для которого воскресенье не является наилучшим носителем информации. Очевидно, что предшествующий понедельник больше содержит в себе информации, чем непосредственно предшествующий день — воскресенье.

Если для прогнозируемой величины  $P_{t+m}^*(h, t_n)$  [где  $t_n \in T_2$ ,  $T_2 = 8, 9, \dots, 12$  (месяцы года) и  $h \in T_1$ ,  $T_1 = 1, 2, \dots, 24$  (часы дня)] выполняется условие  $\sum P_{n-6} > \sum P_n$ , то  $(n-6)$ -й день из динамического статистического ряда будет содержать в себе больше информации, чем  $n$ -й день. При прогнозировании нагрузки на субботу и воскресенье последнее условие нарушается, и днем, содержащим в себе наибольшую информацию, является соответственно предшествующая суббота или воскресенье.

Таким образом, при определении дня, содержащего наибольшую информацию о состоянии системы, необходимо учитывать суммарную нагрузку неполного дня, период года и день недели.

Итак, когда  $n$ -й член из динамического статистического ряда является носителем наибольшей информации о состоянии системы, прогнозирование на предстоящий неполный день, а также на  $h$ -й час ( $h = 1, 2, \dots, 7$ ) ночного времени будет произведено по формуле

$$P_{t+m}^*(h) = \sum_{k=1}^s a_k \cdot P_{t-m+k}(h), \quad (1)$$

где  $t$  — календарный день;  $m$  — шаг прогнозирования из предстоящие сутки;  $k = 1, 2, \dots, s$  — число данных, ближестоящих к прогнозируемому дню из динамического статистического ряда, используемых в прогнозе  $h$ -го часа  $(t+m)$ -го дня;  $n$  — число членов динамического статистического ряда и равно 7, причем в его состав входят все дни недели,  $a_k$  — весовые коэффициенты\*, определяемые всеми данными динамического статистического ряда величин активных нагрузок энергосистемы  $h$ -го часа, с применением метода минимума среднеквадратичной ошибки прогнозируемых величин активных нагрузок с действительными. Естественно, с увеличением числа шагов прогнозирования уменьшается достоверность предсказанной нагрузки. Учитывая это, принимаем  $m = 1$ , т. е. прогнозируется нагрузка на предстоящий первый день. Наилучшее прогнозирование получается, когда количество предысторий в прогнозе равно двум дням.

Если носителем наибольшей информации о состоянии системы является  $(n-6)$ -й член, то прогнозирование на неполный день от 8 по 24 часов рекомендуется произвести по формуле:

$$P_{t+m}^*(h) = a_1 P_{n-6}(h) + \sum_{k=2}^s a_k P_{n-6+k}(h), \quad (2)$$

где  $s < 6$ .

\* Методика определения весовых коэффициентов приведена в [6].

На рис. 3 приведена блок-схема программы прогнозирования по весовым коэффициентам, на основании которой составлена программа прогнозирования нагрузок на языке «Фортран IV», которая реализована на вычислительной машине «Урал-14Д».

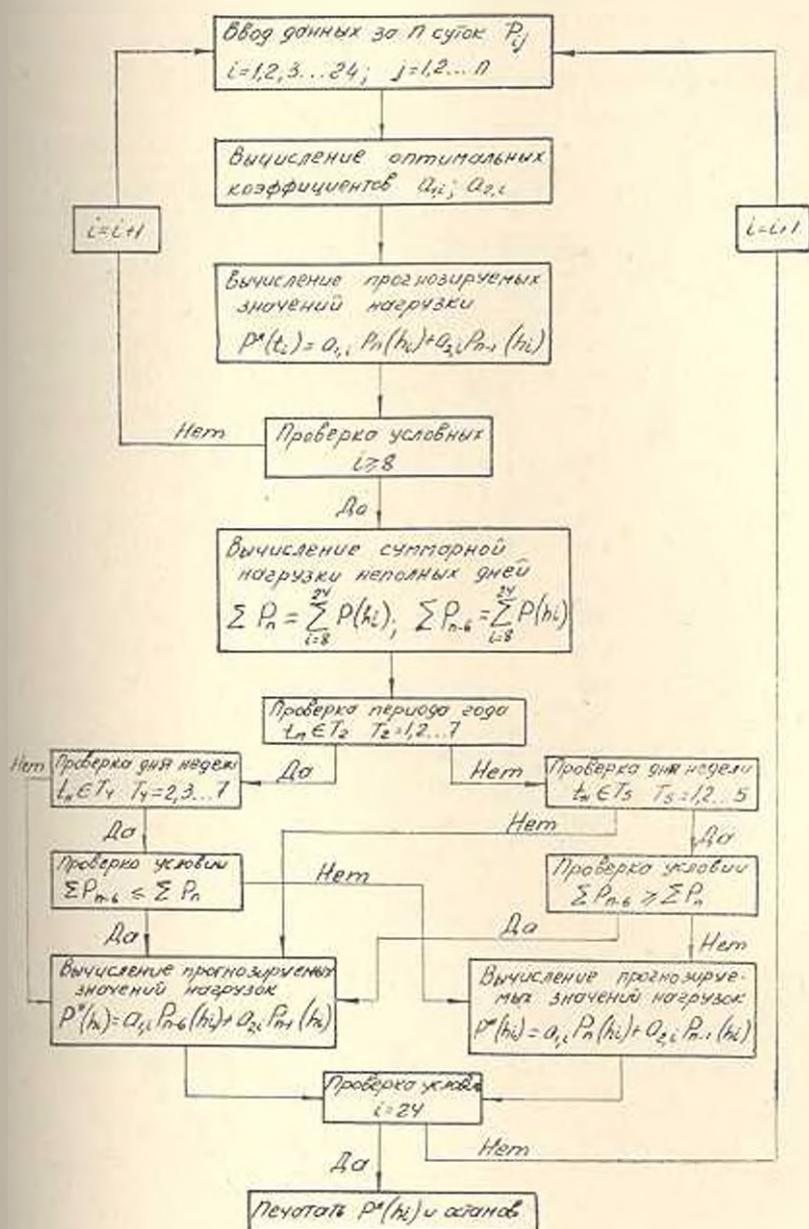


Рис. 3. Блок-схема прогнозирования нагрузок энергосистемы по методу весовых коэффициентов.

В табл. 1 приведены примеры результатов прогнозирования для Армянской энергосистемы по методу весовых коэффициентов по су-

ществующему [4] и предлагаемому способам, причем число используемых дней предыстории равно двум. В табл. 1

$$z = \sqrt{\frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} \left| \frac{P(h) - P^*(h)}{P(h)} \right|^2}$$

—среднеквадратичная ошибка.

Таблица 1

Часы	Прогноз на 27. II 1972 г. (понедельник)		Действ. значения $P$	Прогноз на 28. II 1972 г. (вторник)		Действ. значения $P$
	$P$ по существ. способу	$P$ по пред- полагаемому способу		$P$ по существ. способу	$P$ по пред- полагаемому способу	
1	778	778	776	766	766	791
2	775	775	731	747	747	791
3	780	780	731	737	731	791
4	778	778	731	737	737	791
5	780	780	731	739	739	791
6	788	788	751	754	754	791
7	802	802	816	815	815	841
8	855	926	926	893	964	950
9	906	967	972	928	992	1050
10	906	973	973	950	1014	1067
11	888	1003	935	926	1013	1018
12	866	944	970	891	984	957
13	854	902	927	917	994	966
14	866	875	923	890	967	970
15	808	954	948	910	970	960
16	766	962	972	920	984	960
17	823	941	996	939	990	960
18	901	1056	1075	1003	1069	1046
19	970	1043	1100	1061	1108	1086
20	960	1051	1069	1031	1071	1046
21	942	997	1048	987	1031	1036
22	870	1020	1005	913	994	1010
23	774	1014	926	871	919	916
24	790	809	861	793	857	835
$\bar{z}$	10,4%	1,57%	—	6,27%	3,7%	—

Приведенные данные показывают, что предлагаемый метод весовых коэффициентов обеспечивает существенно повышение достоверности прогнозирования нагрузок энергосистемы.

**Выводы**

1. Нагрузка энергосистемы имеет тенденцию повторяться не только через 24 часа, но и через неделю. Следовательно, для предстоящего прогнозируемого дня необходимо определить: какой день  $[n-i]$  или  $[n-6]-й$  из прошедших дней является носителем наибольшей информации о состоянии системы.

2. Если носителем наибольшей информации о состоянии системы является  $(n-6)-й$  день из динамического статистического ряда, то рекомендуется прогнозирование произвести по формуле (2).

3. Число членов динамического статистического ряда не должно быть меньше семи.

4. Предлагаемый способ определения дня, содержащего наибольшую информацию с состоянием системы, уменьшает среднеквадратичную ошибку и обеспечивает почти одинаковую точность прогнозирования нагрузок для всех дней недели.

5. Простота программы прогнозирования суточного графика нагрузки энергосистемы, малое машинное время расчета, приемлемая точность предсказания для всех дней недели дают основание рекомендовать вышеуказанный метод для прогнозирования нагрузок при оперативном управлении режимами энергосистемы.

АрмНИИЭ

Поступило 25.VI.1976

Դ. Ս. ԵՎԻՏՅԱՆ

**ԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԲԵՌՆՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԳՐԱՖԻԿԻ ԿԱՆՆՈՐՈՇՄԱՆ ԺՇՏՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ԿՇՌԱՅԻՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴԻ ԳԵՊԵՈՒՄ**

Ա. Վ. Փ. Ռ. Ս. Ի. Ժ.

Էներգահամակարգի էֆեկտիվ օպերատիվ ղեկավարումը սերտորեն կապված է առաջիկա օրվա բեռնվածության գրաֆիկի կանխորոշման ճշտության հետ: Այդ գրաֆիկն իրենից ներկայացնում է ոչ ստացիոնար պատահական զրոցես: Սակայն օրական բեռնվածության գրաֆիկները բազմությունից վերցրած մի քանի անդամներ (գրաֆիկներ) բառ ժամային կտրվածքի ի հայտ են բերում բավարար ստացիոնարություն:

Հողվածում ցույց է արված, որ ժամանակի շարքերի բազմությունից վերցրած վերջին երկու շարքերը բազմության մյուս անդամների համեմատությամբ միշտ չէ որ պարունակում են առավել շատ ինֆորմացիա էներգահամակարգի վիճակի մասին առաջիկա օրվա համար: Էներգահամակարգի վիճակի մասին առավել շատ ինֆորմացիա պարունակող օրը որոշելու համար սահմանված է այնպիսի ցուցանիշ, որը հաշվի է առնում ոչ լրիվ օրվա (ժամը 8-րդ մինչև ժամը 24-ը ներառյալ) գումարային բեռնվածությունը, տարվա ժամանակահատվածը և շարավիճակ օրը: Առավել շատ ինֆորմացիա պարու-

նախորդ օրվա ճիշտ որոշումը էապես փոքրացնում է կանխորոշման միջին քառակուսային սխալը և շարաթվա բոլոր օրերի համար համարյա ապահովում է կանխորոշման միևնույն ճշտությունը: Սահմանված ցուցանիշի հիման վրա կաղմված է հաշվարկային ալգորիթմ, այն «Ֆորտրան-4» լեզվով վերածված է համապատասխան ծրագրի, որն էլ իրացված է «Սուրալ-14» թվային հաշվիչ մեքենայի վրա:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мэтьюмен П., Никольсон Г. Методика прогнозирования нагрузок в системах электроснабжения. IEE „Proceedings, the Institution of Electrical Engineers“, 1968, 115, № 10.
2. Иващенко А. Г., Лапа В. Г. Предсказание случайных процессов. Киев, 1971.
3. Баятян Р. С., Нерсисян Е. А., Хачатрян В. С. Корреляционный метод оценки режима в узлах городской распределительной сети «Известия ВУЭ-оп. Энергетика», 1972, № 6.
4. Мимедяров О. С., Исмаилов Ф. С. Оперативный прогноз графика нагрузки. Сб. «Разработки математического обеспечения ОАСУ», «Энергия».
5. Вентцель Е. С. Теория вероятностей «Наука», М., 1964.
6. Мартчян М. Ս. Прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы методом весовых коэффициентов. «Известия АН АрмССР (серия технич. наук)», т. XXX, № 2, 1976.