

С. К. ПАЦЯН

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

В статье излагается статистический метод прогнозирования суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы, отличающийся простотой и наличием возможности использования ЭВМ для быстрого определения перспективных значений нагрузки. Путем сравнения фактических графиков нагрузки Армянской энергосистемы за 1968 и 1970 гг. с прогнозными, сделанными на основе отчетных графиков за 1955-64 гг., производится проверка метода, которая показала его достаточную точность для перспективных расчетов при проектировании энергосистем.

Анализ суточных графиков нагрузки Армянской энергосистемы за 15 лет (1955-69 гг.) показывает, что у одноименных графиков из года в год сохраняются неизменными некоторые характерные особенности, кроме того существует определенная закономерность в изменении конфигурации графиков. В течение всего исследуемого периода сохраняется определенная взаимосвязь между величинами средней нагрузки i -го часа, j -го месяца и максимальной нагрузкой текущего года. Эта связь может быть представлена в виде уравнения регрессии:

$$P_{ij} = a_j + b_j P_{0j} \tag{1}$$

где P_{ij} — среднемесячная нагрузка i -го часа j -го месяца ($i = 1, 2, \dots, 24$; $j = 1, 2, \dots, 12$); P_{0j} — максимальная нагрузка текущего года; a_j и b_j — коэффициенты регрессии. Коэффициенты a_j и b_j определяются методом наименьших квадратов. Для каждой пары значений i и j это условие сводится к решению системы

$$\left. \begin{aligned} \sum P - na - b \sum P_0 \\ \sum PP_0 - a \sum P_0 - b \sum P_0^2 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

где n — число имеющихся пар значений P и P_0 . В каждом отдельном случае дополнительно определяются среднеквадратические отклонения σ_{ij} расчетных значений нагрузки $P_{ij \text{ расч}}$ от фактических $P_{ij \text{ факт}}$ в долях от последних. Для каждой пары значений i и j

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n \left(\frac{P_{\text{факт}} - P_{\text{расч}}}{P_{\text{факт}}} \right)^2}{n - 1}} \tag{3}$$

Коэффициент корреляции, позволяющий судить о тесноте связи между величинами $P_{\text{факт}}$ и $P_{\text{расч}}$, определяется как

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_{\text{факт}}^2}}, \quad (4)$$

где

$$\sigma^2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_{\text{факт}} - P_{\text{арит}}}{P_{\text{арит}}} \right)^2}{n - 1}}$$

это — среднеквадратическое отклонение величин $P_{\text{факт}}$ от их среднеарифметической величины

$$P_{\text{арит}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{факт}}}{n}$$

в долях от последней.

По имеющимся фактическим графикам нагрузки за 15-летний период вычислены значения коэффициентов регрессии и корреляции для всех 24 часов всех месяцев года. Используя уравнения (1), были полу-

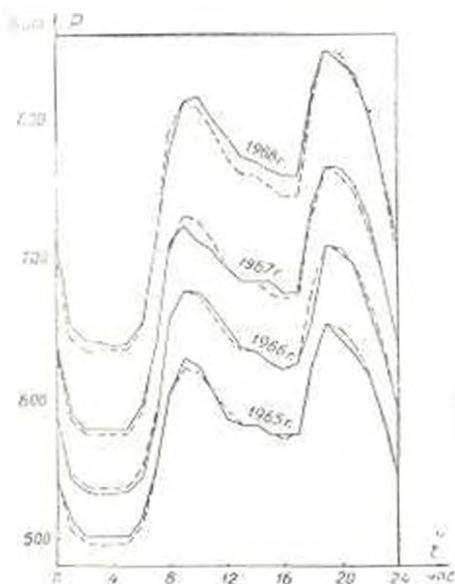


Рис. 1. Расчетные и фактические графики нагрузки среднего декабрьского рабочего дня:

— фактические,
 --- расчетные

чены расчетные графики нагрузки за все годы и сравнены с фактическими. О степени соответствия расчетных и фактических графиков можно судить по рис. 1. Отклонения расчетных величин от фактичес-

ких не превышают 3—4%. Коэффициенты корреляции во всех случаях находятся на достаточно высоком уровне (0,990—0,999). Это означает, что между величинами P_1 и P_2 существует довольно тесная, почти функциональная зависимость.

Таким образом, на протяжении сравнительно длительного периода времени, когда претерпевают значительные качественные и количественные изменения как структура генерирующих мощностей энергосистемы, так и состав потребителей, уравнения (1) сохраняются неизменными и с большой точностью описывают суточные графики нагрузки. Это обстоятельство позволяет предположить, что для описания суточных графиков нагрузки данной энергосистемы уравнения (1) могут с достаточной точностью служить еще некоторое время, тем более, что и формах производства и потребления электроэнергии пока не ожидается каких-либо качественных изменений.

Для прогнозирования графиков нагрузки с помощью уравнений (1) необходимо иметь значения перспективных максимумов нагрузки P_m . Их можно определять как методом прямого счета, так и непосредственной экстраполяцией математически сформулированной тенденции изменения годовых максимумов за ряд предшествующих лет.

Максимальные годовые нагрузки P_m , расположенные в возрастающем порядке (по годам), представляют собой динамический ряд, который, как известно, образуется тремя составными частями: долгосрочным движением или тенденцией, краткосрочным систематическим движением, несистематическим или случайным компонентом. Для определения кривой, наилучшим образом описывающей многолетнюю тенденцию изменения величин P_m , была проведена аппроксимация по зависимости

$$P_m = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n, \quad (5)$$

где t — годы; n — степень полинома; a_1, \dots, a_n — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов из статистического ряда значений P_m за исследуемый период. Каждая из этих функций определялась для пяти вариантов, отличающихся количеством исходной информации (от 8 до 14 лет). Расчеты, проведенные на ЭВМ показали, что с увеличением степени полинома n аппроксимирующая функция охватывает все больше случайных и кратковременных колебаний и не может служить в качестве многолетней тенденции изменения P_m . При экстраполяции полиномов четвертой и выше степеней получаются заведомо неверные значения. Многолетнюю тенденцию роста годовых максимумов наилучшим образом описывает полином второго порядка; разброс перспективных значений P_m , определенных по этой функции, для разных вариантов не превышает 3%. Вместе с тем, полином второго порядка достаточно хорошо описывает исходный ряд.

У динамического ряда, составленного из максимальных годовых нагрузок, отклонения отдельных точек от многолетней тенденции вы-

выпают неравномерностью люда генерирующих мощностей, подъемами или спадами производства в отдельные годы, а также некоторыми случайными факторами (колебания температуры и т. д.). В рассматриваемой энергосистеме эти колебания составляют незначительную величину и в основном носят случайный характер.

Для оценки величин случайных отклонений от тенденции колеблется теорией малых выборок, для которых имеет место распределение рассматриваемого признака по закону Стьюдента. Расчеты показали, что случайные отклонения фактических точек от расчетных с вероятностью 0,995 не превышает 1,5%.

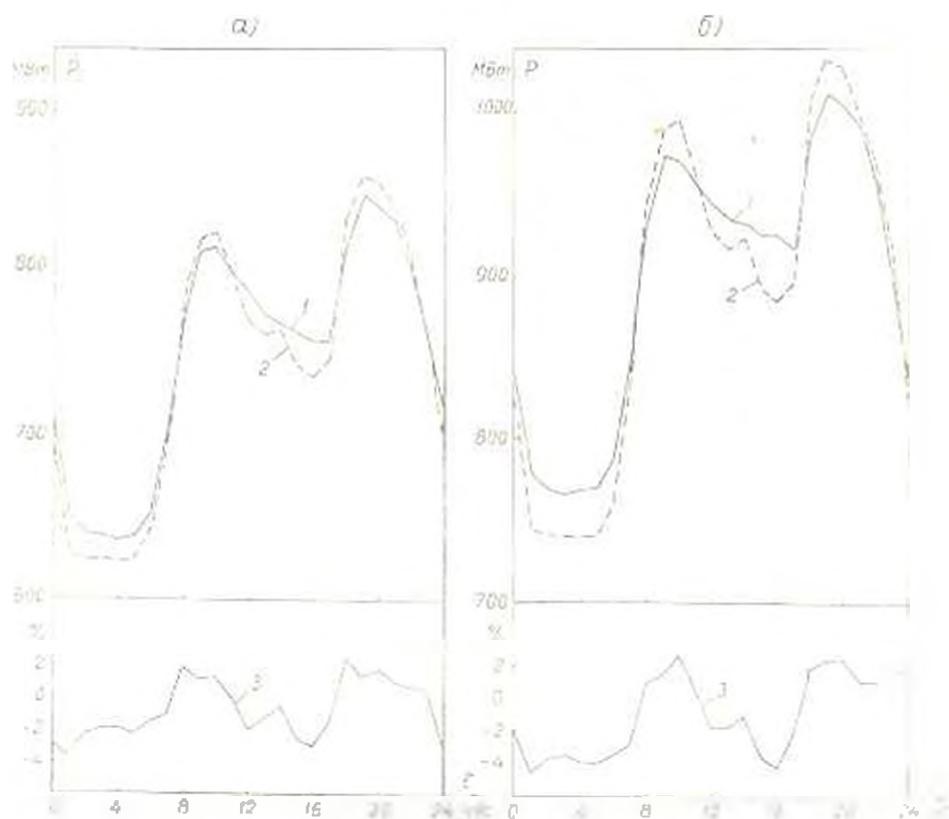


Рис. 2. Сравнение фактического графика нагрузки с прогнозом: а—прогноз на 4 года; б— прогноз на 6 лет; 1—фактический график; 2—прогноз; 3—ошибка фактического прогнозирования; 4—ошибка прогнозирования

Были проведены дополнительные исследования с целью выяснения вопроса о минимально необходимой информации, которая может дать удовлетворительные результаты. Расчеты показали, что чем длиннее исходный ряд, тем лучше результаты прогноза. Оказалось, что информация за 5—8 лет дает удовлетворительные результаты при прогнозировании на 3—4 года; а для прогнозирования на 5—8 лет необходима информация за период не менее 10 лет.

С целью проверки точности предлагаемой методики были прогнорированы суточные графика нагрузки на 1968, 1969 и 1970 гг. на основе фактических данных за 1955—64 гг. (прогноз на 4 года, 5 и 6 лет) и сопоставлены с фактическими графиками. Исходные данные для расчета графика среднего декабрьского рабочего дня, а также результаты прогнозов на 4 года и 6 лет (без оценки доверительного интервала) приведены в табл. 1. Расчетные и фактические графики 1968 и 1970 гг., а также графики ошибок прогнозирования представлены на рис. 2. Максимальная ошибка прогнозирования на 4 года составляет 3,6%, а на 6 лет 4,5%.

Таблица 1

Цикл	Суточные графики нагрузки, МВт										Коэффициенты регрессии		Прогноз, МВт	
	годы										b	a	1968 1970	1970 1974
	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1967	1968				
1	243	261	254	279	305	314	334	355	405	460	0,660	60,9	629	741
2	241	257	252	275	298	306	330	354	405	455	0,662	56,5	626	741
3	242	255	249	273	296	304	326	349	405	455	0,661	53,5	626	746
...
18	259	281	290	324	338	379	412	444	505	575	0,975	-1,5	836	1006
19	270	284	297	332	366	391	425	459	524	586	1,004	-2,3	860	1035
20	268	282	302	330	364	388	423	457	519	585	0,996	-0,5	856	1030
...
24	218	268	266	292	318	329	353	377	445	491	0,755	41,1	691	822

* Годовые максимумы (P_н)

Результаты сравнения, а также возможность проведения расчетов в кратчайшие сроки с помощью ЭВМ позволяют рекомендовать предлагаемую методику для применения при прогнозировании суточных графиков нагрузки крупных энергосистем на недалекую перспективу (5—8 лет). По мере накопления дополнительного фактического материала необходимо провести дальнейшее уточнение метода целью расширения области его применения.

АрмНИИЭ

Поступило 8.VI.1970

И. А. АУАСАН

ՀԱՅԿՍՏԱՆԻ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆԻ
ԿԱԼԵԱԿՈՆՏՐԱԿՆԻ ԳՐԱԿԱԿՐԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆ

И. А. АУАСАН

Շարադրված է Հանրաշահակարգի էլեկտրական բնակամասի մասին օրական զրաֆիկների կանխագուշակման միջակազրական մեթոդը մտնող ստորագրողի կողմից:

յի (5—8 տարի) համար: Թեթիղը հնարավորություն է ընձևեռնում հաշվի առնել ինչպես հաշվետու գրաֆիկների համանմաստությունը, այնպես էլ նրանց՝ ըստ տարիների տեսքի փոփոխության օրինաչափությունները: Բնութամ է Հայկական էներգահամակարգի 1968 և 1970 թվականների միջին աշխատանքային օրվա փաստացի դրաֆիկների համեմատությունը 1955—1964 թթ. հաշվետու գրաֆիկների հիման վրա կատարած կանխտեսչական հետազոտության Զորս տարվա համար կանխագուշակման առավելագույն սխալը կազմում է 3,6% վեց տարվա համար՝ 4,7%: