

Н.Б. Овсянников, А.В. Пичуев

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Дана классификация методов прогнозирования, предложен комбинированный метод прогнозирования на основе экстраполяции целевой функции кубическим сплайном и спектральной функции модели электропотребления. Предложена совмещенная прогнозная модель, позволяющая пошагово корректировать прогнозные данные в оперативном режиме контроля. Приведены результаты прогнозирования электропотребления для меднорудного карьера.

Ключевые слова: прогнозирование электропотребления, прогнозные модели, динамические характеристики, энергетические характеристики, технологический расход электроэнергии.

В области моделирования и прогнозирования электропотребления на горных предприятиях имеется ряд проблем, связанных необходимостью разработки математических моделей процесса электропотребления, повышающих точность моделирования и прогнозирования с учетом специфики организации, планирования и ведения горных работ.

Прогнозирование электропотребления предоставляет первоначальную информацию для планирования нормальных режимов работы при управлении энергохозяйством на горном предприятии. На основании проведенного прогноза рассчитываются действительные и оптимальные режимы работы энергосистем, а также оцениваются качественные параметры (надежность, качество электроэнергии и т.д.).

На рис. 1 приведена классификация методов и способов, применяемых при построении прогнозных моделей.

Основные алгоритмы прогнозирования электропотребления представляют собой различные сочетания статистических методов анализа: моделирования

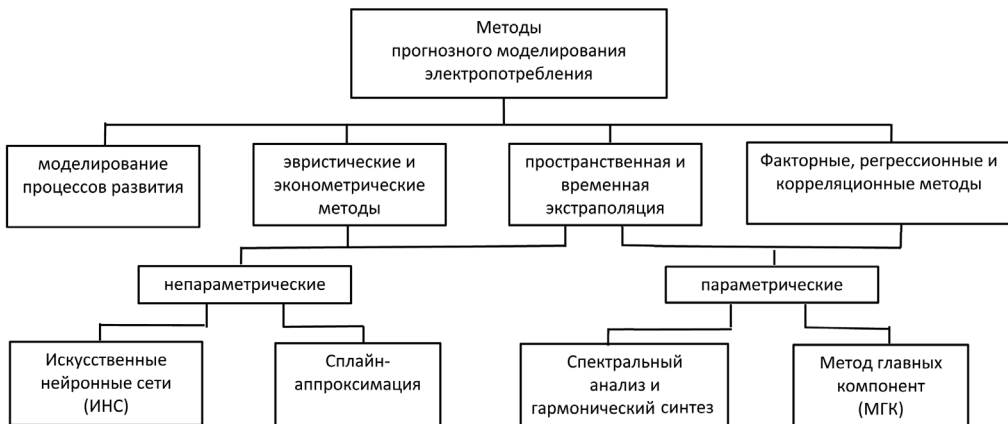


Рис. 1. Классификация основных методов и способов прогнозирования электропотребления

процессов развития; пространственной и временной экстраполяции; эвристические и эконометрические; факторные, регрессионные и корреляционные. При этом можно рассматривать их как две группы: непараметрические и параметрические.

К методам, которые основываются на нелинейных моделях, относятся средства оптимизации и искусственные нейронные сети (ИНС) [1, 2] и предлагаемый авторами метод экстраполяции функции в область прогнозных значений с помощью кубических сплайнов.

Метод главных компонент в сочетании со спектральным анализом и гармоническим синтезом целевой функции позволяет реализовать прогнозную модель с учетом влияния параметрических факторов, определяющих уровень электропотребления и динамику его изменения во времени.

Краткосрочное прогнозирование выполняется на базе регрессионной модели по методу наименьших квадратов (МНК). Для этого целевая функция представляется в виде линейной или параболической функций времени типа

$$P(t) = a_0 + a_1 t \text{ или } P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2.$$

Прогнозное значение нагрузки $P(t)$ выражается рядом Тейлора

$$P(t + \Delta t) = P(t)_t + \frac{dP(t)}{dt} \Delta t + \frac{1}{2!} \frac{d^2 P(t)}{dt^2} \Delta t^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n P(t)}{dt^n} \Delta t^n$$

Для прогнозирования оперативного изменения нагрузки достаточным является применение фильтра Брауна второго порядка [2].

При краткосрочном и долгосрочном прогнозировании режимов электропотребления предлагается использовать сочетание методов экстраполяции кубическими сплайнами и спектрального анализа динамического ряда электропотребления.

Экстраполяция сплайн-функции в область прогнозных значений расхода электроэнергии $W(t)$ осуществляется по формуле

$$W(t) = W_n - \left(\frac{(t_n - t_{n-1}) m_{n-1}}{6} - \frac{W_n - W_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \right) \times (t - t_n)$$

где n – число узлов (временных меток t_n), в которых зафиксированы текущие значения нагрузки $W(t)$; $m_{n-1} = f''(t_{n-1})$ – вторая частная производная для предпоследнего узла нагрузки

При экстраполяции в область значений $t_i > t_n$ предполагается, что наклон линейного участка $W(t)$ равен первой производной сплайн-функции в точке (t_n, W_n) .

Хотя сплайн-интерполяция осуществима при переменном шаге $h_i = t_{i+1} - t_i$, значительное изменение h_i при условии $h_{\text{макс}}/h_{\text{мин}} > 4$, не целесообразно, поскольку в этом случае преимущества сплайн-интерполяции снижаются и погрешность ее заметно возрастает.

Периодическая функция, характеризующая динамику энергопотребления за определенный период времени, представляется выражением:

$$W(t) = a_0 + \sum_{i=1}^T (a_i \cos k_i t + b_i \sin k_i t),$$

где T – период времени (сутки, год); k_i – номер гармоники; t – последовательный временной интервал (час, сутки, месяц), определяемый для циклических функций по формуле $t = 2\pi(n-1)T^{-1}$ (здесь n – номер временного интервала в цикле; a_0, a_i, b_i – коэффициенты спектральной функции).

Nº	$W(t)$	$m(k)$	$W(t)$	$m(k)$	$W(t)$	$m(k)$	$W(t)$	$m(k)$
n	9		7		5		3	
1	2141,5	0	–	–	–	–	–	–
2	2069,7	168,78	–	–	–	–	–	–
3	2070,8	-237,74	2070,8	0	–	–	–	–
4	1983,2	249,98	1983,2	186,27	–	–	–	–
5	1982,9	-238,37	1982,9	-221,3	1982,9	0	–	–
6	1919,6	325,52	1919,6	320,94	1919,6	261,67	–	–
7	1974,3	-355,68	1974,3	-354,46	1974,3	-338,66	1974,3	0
8	1876,7	183,42	1876,7	183,11	1876,7	179,16	1876,7	94,5
9	1842,1	0	1842,1	0	1842,1	0	1842,1	0
$W(10)$	1838,07	–	1838,02	–	1837,36	–	1823,25	–
$\varepsilon\%$	–	–	0,003	–	0,04	–	0,8	–

Динамика энергопотребления может быть представлена в таком виде с достаточно высокой степенью точности.

В данном случае количество интервальных значений функций, в силу их дискретности, эквивалентно продолжительности анализируемого периода времени T .

Оценка возможности моделирования режима электропотребления на основе сплайн-аппроксимации осуществлялась на основании данных ежемесячного технологического расхода электроэнергии по меднорудному карьеру РОР «ЭРДЭНЭТ» [3].

Для заданного ряда значений $W(t)$ определим относительную ошибку прогнозного значения сплайн-функции в зависимости от длины «гибкой линейки», расчетные значения для которой приведены в таблице.

В таблице приведены значения $W(t)$ для 9 заданных интервалов измерений и соответствующие им частные производные целевой сплайн-функции при длине

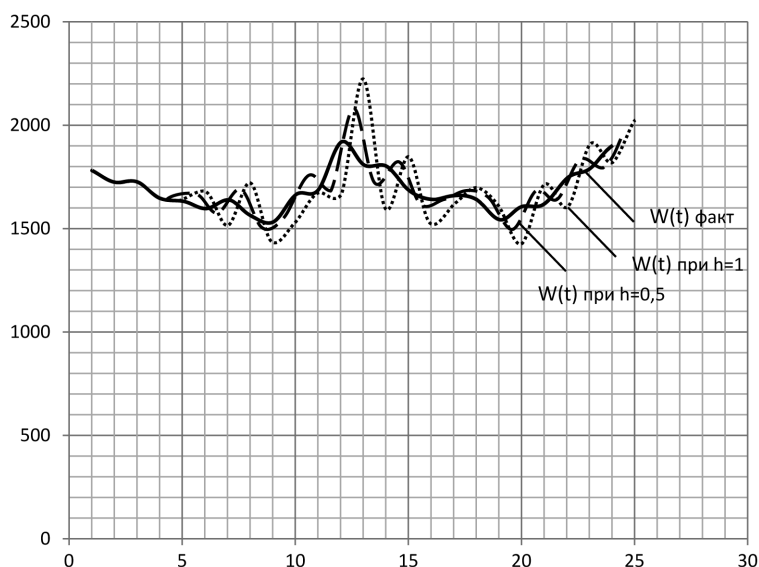


Рис. 2. График прогнозных моделей электропотребления

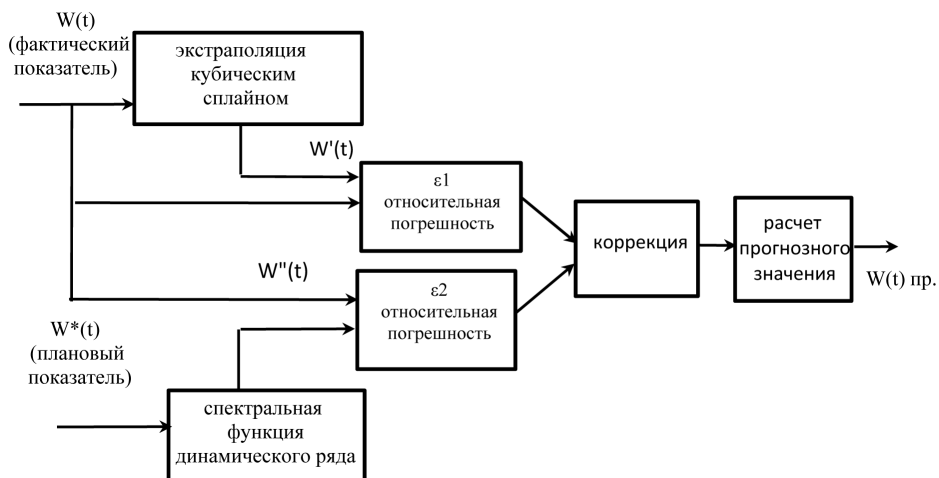


Рис. 3 Совмещенная прогнозная модель электропотребления

«гибкой линейки», соответственно 9, 7, 5 и 3 интервала, а также прогнозное значение $W(10)$, полученное в результате экстраполяции функции $W = f(t)$ на один «шаг», относительная ошибка расчета $\varepsilon\%$ и значения частных производных $m(k)$ в узлах целевой функции.

Для заданного ряда значений $W(t)$ была определена относительная ошибка $\varepsilon\%$ прогнозного значения сплайн-функции в зависимости от длины «гибкой линейки». Из данных расчета видно, что длину линейки в 5 интервалов можно считать вполне достаточной для прогнозной модели.

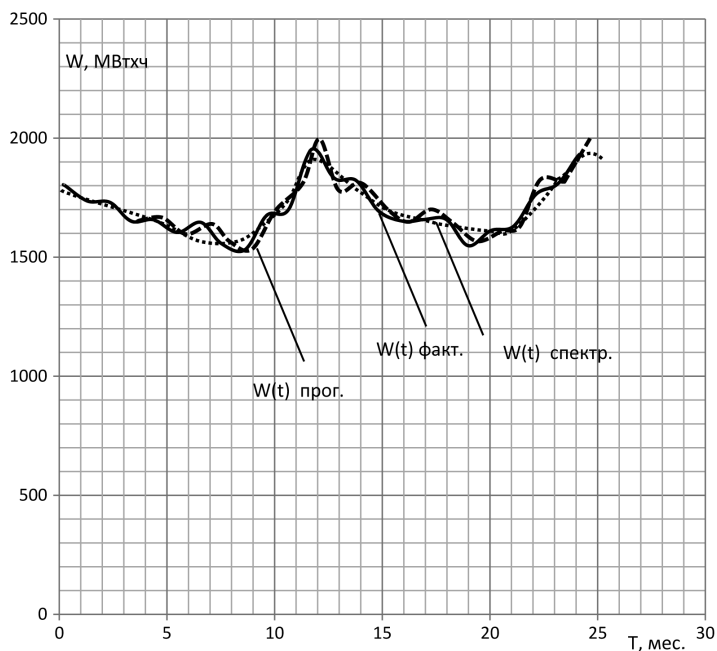


Рис. 4. Совмещенный график прогнозной модели

На рис. 2. приведены график электрической нагрузки и прогнозные графики с шагом прогнозирования $h = 1$ и $h = 0,5$. Анализ показал, что для прогнозных моделей характерным является не только смещение графика, но и увеличение амплитуды прогнозных значений, что резко снижает точность прогнозирования. При этом уменьшение шага прогнозирования дает более точное приближение.

Таким образом, в моделях, имеющих сезонную составляющую, применение только одного метода моделирования дает значительную погрешность прогноза.

Одним из возможных решений является совмещение двух взаимодополняющих моделей, одной из которых является сплайн-функция текущего режима электропотребления, а вторая – спектральная функция планируемого электропотребления на заданный период.

В этом случае корректируя прогнозное значение текущей и плановой функций можно добиться требуемой точности прогнозируемой величины электропотребления. Схема совмещенной модели представлена на рис. 3.

Плановый тренд позволяет предопределить общую тенденцию изменения электропотребления (рис. 4), а сплайн – выполнить прогноз с учетом реального электропотребления за прошедший период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пальчиков А.С. Существующие способы прогнозирования электропотребления объектов в металлургической отрасли // Современные научные исследования и инновации. – Сентябрь 2012. – № 9.
2. Васильев А.Д., Иващенко В.А. Модели автоматизированного прогнозирования электрических нагрузок промышленных предприятий // Управление большими системами. – № 34. – 2011. – С. 254–266.
3. Пичуев А.В., Овсянников Н.Б., Петров А.А. Сравнительный анализ плановых и фактических показателей электропотребления и оценка энергоэффективности технологических участков меднорудного карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 2. – С. 294–302. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Овсянников Николай Борисович – аспирант,

Пичуев Александр Вадимович – кандидат технических наук, доцент, докторант, МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

UDC 658.012.011:622

METHODS OF FORECASTING OF ELECTRIC POWER LOAD IN MINING INDUSTRY

Ovsyannikov N.B., Graduate Student,

Pichuev A.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Doctoral Candidate,

Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», e-mail: ud@msmu.ru.

The article provides a classification of forecasting methods that are proposed combination forecasting method based on the extrapolation of the objective function cubic-spline and spectral function model of electric power consumption. The proposed combined predictive model that allows the step to adjust the forecast data in the operational mode control. The results of predicting energy consumption for copper-ore pit.

Key words: energy consumption forecasting, predictive models, dynamic characteristics, power characteristics, technological consumption of electricity.

REFERENCES

1. Pal'chikov A.S. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2012, September, no 9.
2. Vasil'ev A.D., Ivashchenko V.A. *Upravlenie bol'shimi sistemami*, no 34. 2011, pp. 254–266.
3. Pichuev A.V., Ovsyannikov N.B., Petrov A.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 2, pp. 294–302.