

Анализ временных рядов как метод построения прогноза потребления электроэнергии

Сидоров С.Г., канд. техн. наук, Никологорская А.В., асп.

Рассматриваются различные методы анализа временных рядов и их применение для прогнозирования потребления электроэнергии на примере анализа энергопотребления в Костромской области.

Ключевые слова: типовой график нагрузки, временной ряд, функция отклика фильтра, метод обратного распространения ошибки, почасовое прогнозирование, параллельная реализация алгоритмов.

Time-series Analysis as Method of Forecast Formation of Electric Power Consumption in Kostroma Region

S.G. Sidorov, Candidate of Engineering, A.V. Nikologorskaya, Post-Graduate Student

The article describes several techniques of time-series analysis for using in predicting the electric energy demands by studying the electric power consumption data in Kostroma region.

Key words: typical load diagram, time-series, filter response function, method of back propagation of error, hourly forecasting, parallel realization of algorithms.

Построение оптимального прогноза величины потребляемой электроэнергии является актуальной задачей. В первую очередь, это связано с расчетом затрат, планируемых на покупку и реализацию электроэнергии. От точности полученного прогноза будет зависеть экономия денежных средств компаний, работающих на рынке предоставления энергетических услуг. Для проведения исследования были рассмотрены показатели энергопотребления в Костромской области за 2005 г. Требовалось на основании предоставленной информации об энергопотреблении за прошлый период предсказать значения объемов потребляемой электроэнергии на сутки вперед.

Временной ряд – это последовательность числовой величины или набора величин, непрерывно изменяющихся во времени. Анализ временных рядов с помощью математических методов позволяет получить будущее значение рассматриваемой величины на основе известных составляющих ее временного ряда.

В рассматриваемой задаче временной ряд образуют значения объемов потребляемой электроэнергии, изменяющиеся в течение времени. В результате выявлена следующая динамика изменения рассматриваемой величины в течение недели (рис. 1).

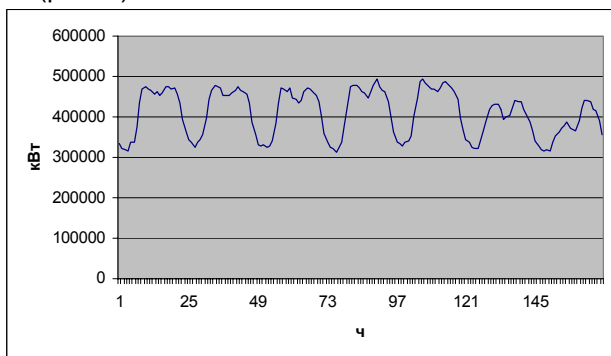


Рис. 1. Почасовое потребление электроэнергии за неделю

Поведение представленного временного ряда носит квазипериодический характер. Период колебания составляет 24 ч. Пики потребления электроэнергии приходятся на 11 и 18 ч дня. Это объясняется возрастающей в это время нагрузкой электросетей за счет работающих предприятий, а также совпадением с пиком человеческой активности. В период обеденных перерывов (с 14 до 16 ч дня) наблюдается незначительный спад. Снижение общего объема потребления в выходные дни обусловлено уменьшением доли активных промышленных потребителей, которые составляют около 50 % от общего числа потребителей.

Более детальный анализ (рис. 2) позволяет сделать вывод о том, что динамика наблюдаемых изменений в будние и выходные дни имеет различный характер.

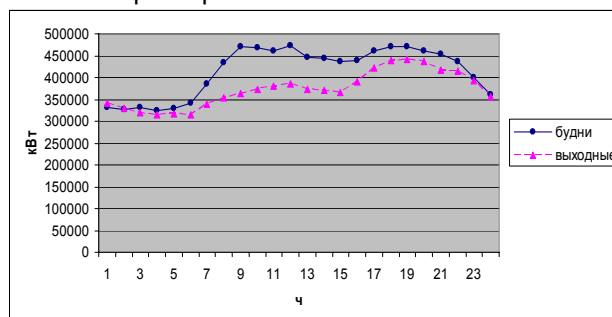


Рис. 2. Почасовое потребление электроэнергии в будний и выходной дни

Типовой график нагрузки в будние дни подчинен рабочему графику предприятий и в меньшей степени учитывает природу человеческой активности, которая в большей степени определяет потребление электроэнергии в выходные дни.

Таким образом, на основании выявленных закономерностей, целесообразным явилось разбиение общего временного ряда на два: для будних и выходных дней соответственно. Для удобства про-

изводимых вычислений был выполнен переход от абсолютных показателей энергопотребления к относительным.

В качестве способов обработки временных рядов были использованы три алгоритма. Выбор первого метода – фильтра Винера – обусловлен квазипериодическим характером зависимости энергопотребления от времени. Второй – нейросетевой подход – позволяет учесть нелинейность наблюдаемых процессов и сложный характер внутренних закономерностей между элементами, составляющими временной ряд. Третий подход – эволюционное моделирование – призван решить задачу оптимизации.

Фильтр Винера. Согласно теории винеровской фильтрации, решение поставленной задачи сводится к нахождению функции отклика фильтра $h(t)$, оптимальной по критерию минимума среднеквадратичной ошибки, т.е. минимизации величины ε^2 :

$$\varepsilon^2 = [y(t) - y(t + \Delta t)]^2,$$

где $y(t)$ – сигнал на входе фильтра; $y(t + \Delta t) = h(t - \tau) \otimes y(\tau)$ – сигнал на выходе фильтра; $\Delta t > 0$.

При решении задачи прогнозирования $y(t)$ – известные значения величины энергопотребления за прошлый период; $y(t + \Delta t)$ – прогнозируемое значение потребляемой электроэнергии, где Δt – величина периода упреждения.

Оптимальные результаты были получены при числе коэффициентов фильтра, равном 4 и 8.

Нейронная сеть. Для построения прогноза с помощью данного метода был выбран двухслойный персептрон со множеством входов и одним выходом. На вход сети подавались известные значения величины энергопотребления в моменты $t_{k-24}, t_{k-48}, t_{k-72}, \dots, t_{k-n*24}$, т.е. набор значений искомой величины в предыдущие дни. В результате на выходе получали значение потребляемой электроэнергии в момент t_k . В качестве способа обучения нейронной сети был использован метод обратного распространения ошибки.

Экспериментально было установлено, что оптимальным является учет значений за предыдущие 24 дня.

Эволюционное моделирование. Метод эволюционного моделирования основан на мутации и естественном отборе особей, максимально удовлетворяющих указанным критериям. При решении поставленной задачи прогнозирования в качестве особей популяции выступали детерминированные автоматы Мили, которые в процессе решения подвергались случайным изменениям, а в качестве критерия оптимальности была задана минимизация ошибки предсказания.

После проведенных испытаний трех указанных методов построения прогноза величины энергопотребления в Костромской области были получены результаты почасового прогнозирования на сутки вперед (см. таблицу).

В результате сравнительного анализа были сделаны следующие выводы:

- фильтр Винера показал относительно хорошие результаты (87 % спрогнозированных значений входят в интервал допустимой 5 %-ной погрешности). Однако следует отметить, что полученный прогноз является довольно грубым, так как ошибка менее 2 % присуща лишь половине полученных показателей;

- применение нейронной сети дало очень точные результаты: 83 % предсказанных значений попадают в 2 %-ный интервал отклонения.

- метод эволюционного моделирования приближается к методу винеровской фильтрации по оценкам предсказываемых показателей: 79 % спрогнозированных показателей принадлежат интервалу 5 %-ного отклонения от нормы. Но в отличие от остальных методов для него характерна значительная (около 10 %) ошибка в некоторые моменты времени.

Результаты почасового прогнозирования на сутки вперед

Метод	число прогнозов с погрешностью < 2%	число прогнозов с погрешностью < 5%	максимальная погрешность, %
Фильтр Винера	11	21	8,475
Нейронная сеть	20	24	2,716
Эволюционное моделирование	10	19	9,090

Достоинства и недостатки рассмотренных методов. *Фильтр Винера* рационально использовать в случае малого объема предоставляемой информации и времени, затрачиваемого на проводимые вычисления. Однако в качестве недостатков можно указать невысокую точность вычислений и ограничения, накладываемые на входные данные, в связи с использованием в процессе решения преобразования Фурье (число элементов, составляющих объем входной выборки для расчета коэффициентов, должно быть степенью двойки).

Нейросетевой подход показывает высокую точность полученных результатов, а также оптимален при выявлении сложных внутренних закономерностей. Однако при этом для обучения нейронной сети необходимы большой объем накопленной статистической информации, а также значительные временные затраты.

Преимуществом *метода эволюционного моделирования* является прозрачность основных производимых вычислений. Но при этом следует учитывать необходимость наличия больших временных ресурсов.

Возможность распараллеливания. В целях повышения производительности рассмотренных алгоритмов рациональным является стремление к их параллельной реализации. Кроме уменьшения времени на производимые расчеты, распараллеливание позволило бы рассмотреть большее количество возможных наборов входных данных, а также вариантов их обработки в целях поиска оп-

тимального подхода к решению поставленной задачи прогнозирования.

Ключевым моментом при использовании метода Винеровской фильтрации является преобразование Фурье. Данный алгоритм подвергается распараллеливанию с высокой степенью эффективности. В настоящее время существует большое количество разнообразных параллельных реализаций, из которых представляется возможным выбрать наиболее оптимальную. Поэтому решение поставленной задачи с помощью фильтра Винера обладает высокой степенью параллелизма.

При нейросетевом подходе основной акцент может быть сделан на параллелизме в работе нейронов. Так как действия, выполняемые на каждом из нейронов, равносильны по количеству производимых операций, следовательно, преимущество в скорости вычислений при параллельной реализации данного алгоритма пропорционально числу используемых нейронов.

Эволюционное моделирование сложнее, по сравнению с другими рассмотренными алгоритмами, подвергается распараллеливанию. Одновре-

менные действия на всех автоматах могут быть произведены в момент подсчета целевой функции или в момент предсказания очередного символа последовательности. Однако в период мутации будет наблюдаться активная работа одного объекта и простой всех остальных.

Список литературы

1. **Айфичер Э., Джервис Б.** Цифровая обработка сигналов: практический подход: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
2. **Винер Н.** Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. 2-е изд. – М.: Наука, 1983.
3. **Букатова И.Л.** Эволюционное моделирование и его приложения. – М.: Наука, 1979.
4. **Уоссермен Ф.** Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, 1992.
5. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002.
6. **Зверев В.А., Стромков А.А.** Выделение сигналов из помех численными методами. – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2001.
7. **Головкин В.А.** Нейронные сети: обучение, организация и применение: Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. А. И. Галушкина. – М.: ИПРЖР, 2000.

Сидоров Сергей Георгиевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры высокопроизводительных вычислительных систем,
телефон (4932) 26-98-29.

Никологорская Анна Владимировна,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры высокопроизводительных вычислительных систем,
телефон (4932) 26-98-29.