

Методы и модели анализа волатильности потребления электроэнергии с учетом цикличности и стохастичности

В. А. Зубакин, д.э.н., профессор, **Н. М. Ковшов**
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

V.A. Zubakin, N.M. Kovshov
(Plekhanov Russian University of Economics, Moscow)

METHODS AND ANALYSIS MODELS OF ELECTRICITY CONSUMPTION IN VIEW OF CYCLISITY AND STOCHASTICS

Аннотация: данная статья посвящена изучению непостоянства потребления электроэнергии. Для потребления характерно наличие циклических колебаний, а также влияние случайных факторов. Наличие информации об основных закономерностях и способах моделирования позволяет осуществлять планирование и выбор оптимальных режимов работы электрогенерирующего оборудования.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, моделирование потребления, сезонные циклы, цикличность, стохастичность.

This article is devoted to the study of variability of electricity consumption. Cyclical fluctuations and the impact of random factors are typical for electricity consumption. Availability of information about the basic laws and methods of modeling allows the planning and selection of optimal operating modes of power generating equipment.

Key words: electricity consumption, modeling of consumption, seasonal cycles, cyclicity, stochastics.

Ключевым фактором, характеризующим волатильность потребления электроэнергии, является наличие ярко выраженных циклических колебаний, к основным видам которых можно отнести следующие:

- сезонный (годовой) цикл;
- суточный цикл (летний и зимний);
- недельный цикл.

Сезонность потребления главным образом обусловлена температурным фактором. В российских условиях годовой максимум нагрузки электросети наблюдается зимой и приходится на один из дней декабря. В странах с теплым климатом ситуация противоположная, и максимум приходится не один из летних месяцев. Данная особенность объясняется необходимостью в задействовании отопительного оборудования или же кондиционеров для регулирования температуры в помещениях, работа которых требует большого количество электроэнергии. Годовой график нагрузки на ЕЭС России за 2014 г. [1] представлен ниже (рис. 1).

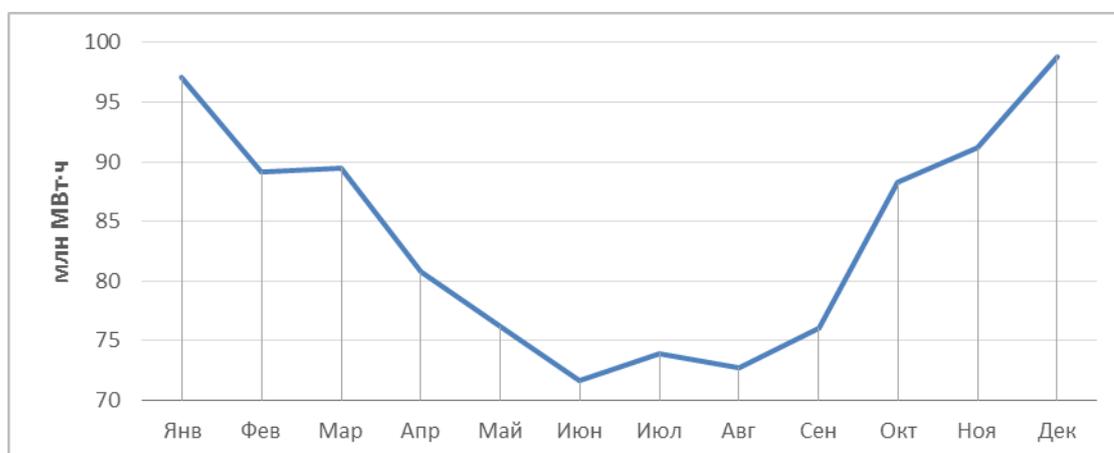


Рис. 1. Годовое потребление электроэнергии

Нагрузка на электросеть значительно изменяется в течение суток. В ночные часы потребление существенно ниже, чем в утренние и дневные, так как количество потребителей и объемы их потребления снижаются как в промышленности, так и у населения на бытовые нужды. Общей особенностью суточного цикла является наличие двух выраженных пиков: утреннего и вечернего. При этом высокая нагрузка наблюдается в дневные часы и снижается в ночные. Типичное зимнее распределение нагрузки обычно имеет эти два пика и два провала. Вечерний пик на зимнем графике выделяется особенно сильно, а также наступает раньше, чем на летнем. Это объясняется ранним заходом солнца и включением освещения, в том числе энергоемкого уличного освещения (рис. 2).

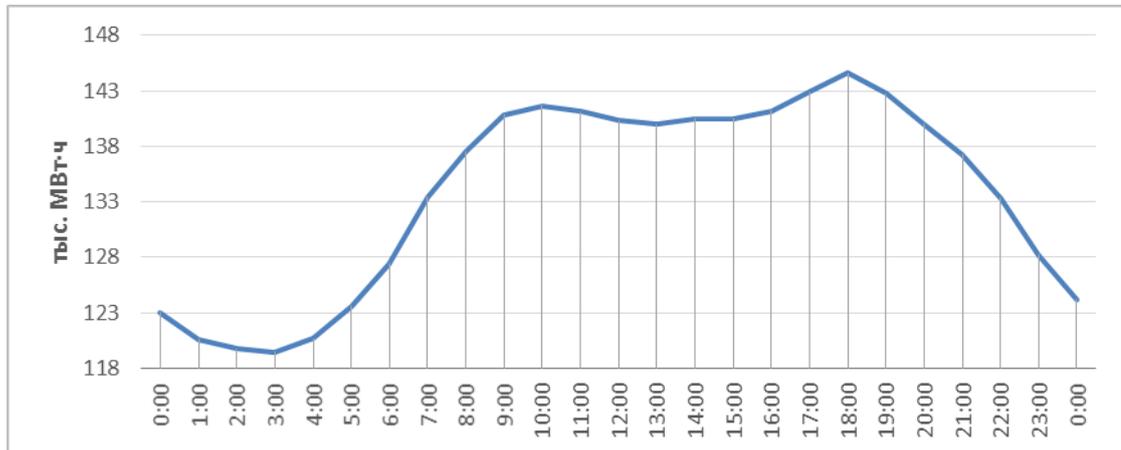


Рис. 2. Суточное зимнее потребление электроэнергии

Летний график нагрузки обычно имеет три пика — утренний, дневной, наступающий после обеденного перерыва, и вечерний, обусловленный включением освещения (рис. 3).

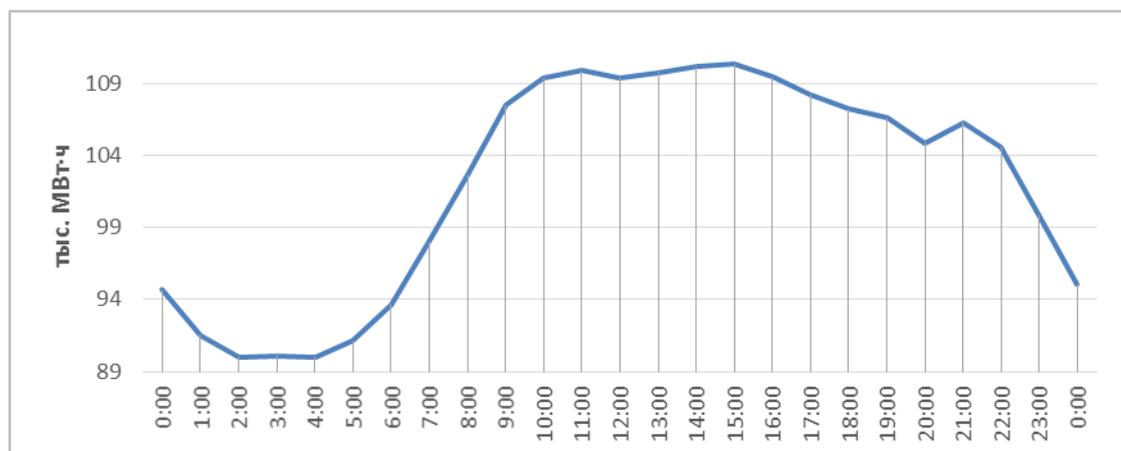


Рис. 3. Суточное летнее потребление электроэнергии

Из недельного графика (рис. 4) следует, что базовое и пиковое потребление электроэнергии постепенно возрастает в энергосистеме к четвергу, а затем несколько снижается в пятницу (предвыходной день) и резко падает в выходные дни. Аналогичная ситуация складывается в праздничные и предпраздничные дни.

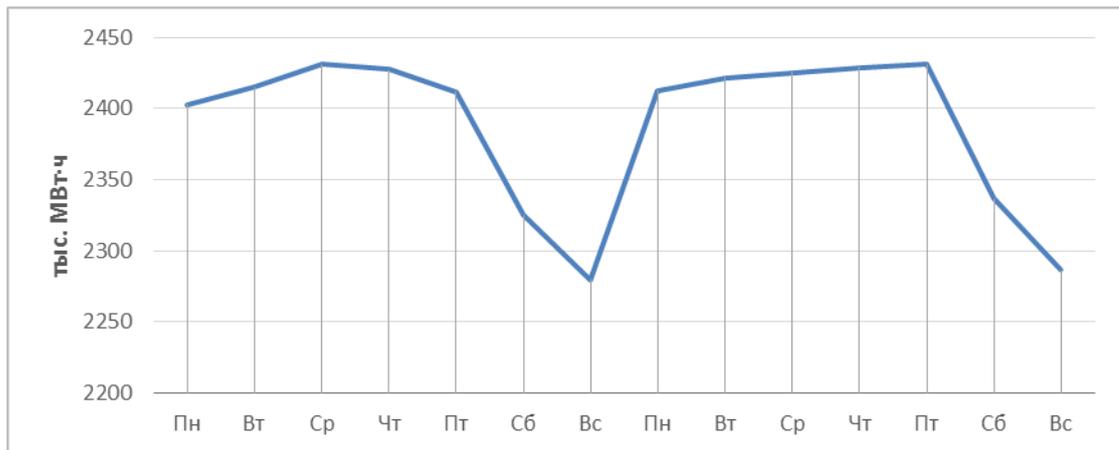


Рис. 4. Недельное потребление электроэнергии

Описанные циклы потребления достаточно точно моделируются с помощью соответствующих эконометрических моделей. Характер колебаний может быть статистически выявлен с помощью коэффициента автокорреляции (формула 1):

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1) \cdot (y_{t-1} - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum_{t=2}^n (y_t - \bar{y}_1)^2 \cdot \sum_{t=2}^n (y_{t-1} - \bar{y}_2)^2}} \quad (1)$$

Последующие коэффициенты рассчитываются по аналогии. Анализ коррелограммы, построенной на основе значений полученных коэффициентов, позволяет сделать вывод о наличии циклических колебаний и их периодичности в зависимости от позиции максимального лага. Так, при рассмотрении сезонного цикла, число периодов будет совпадать с количеством месяцев.

Одной из наиболее подходящих моделей, учитывающих сезонность, является аддитивная модель временного ряда. Амплитуда сезонных колебаний в данной модели является постоянной, что соответствует природе колебаний, связанных с потреблением электроэнергии. Прогнозное значение в аддитивной модели есть сумма трендовой и сезонной компоненты (формула 2):

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

здесь Y_t – уровень временного ряда, $T_t = b_0 + b_1 t$ – трендовая составляющая, S_t – сезонная составляющая и ε_t – случайная составляющая.

Таким образом, можно обозначить следующий перечень факторов, оказывающих влияние на потребление электроэнергии:

- тип дня (рабочий/выходной, праздничный/предпраздничный день);
- время года;
- время суток;
- погодные условия (температура воздуха, облачность, осадки, туман и т.п.).

Очевидно, погодные условия могут обладать достаточно сильной неопределенностью, особенно при рассмотрении среднесрочного прогноза. Довольно часто наблюдаются различные отклонения от среднегодовых температурных норм или норм выпадения осадков. В таких ситуациях рассмотренная модель сезонных колебаний, основанная на среднемноголетних наблюдениях, не сможет предоставить точного прогноза. В этих целях в прогнозную модель добавляется так называемый стохастический фактор. Примером модифицированной математической модели электропотребления на основе сезонных кривых может быть модель следующего вида (формула 3):

$$Y_t = T_t + S_t + \xi_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

- Y_t – фактическая нагрузка энергосистемы;
- T_t – тренд-циклическая компонента (выступает как базовая составляющая, определяемая устойчивыми производственными циклами, суточной и недельной неравномерностью графика нагрузки);
- S_t – сезонная составляющая (обусловлена сезонными колебаниями температуры и освещенности);
- ξ_t – нерегулярная составляющая (отклонения метеофакторов от устойчивых сезонных циклов);
- ε_t – остаточная составляющая (определяется влиянием неучтенных факторов).

Данная модель сезонных циклов позволяет учесть стохастическую долю в прогнозе потребления за счет добавления нерегулярной составляющей, однако ее определение является достаточно сложной задачей.

В описанных условиях одним из возможных методов моделирования является факторный анализ. Метод позволяет рассмотреть максимальное количество факторов, которые могли бы оказать влияние на энергопотребление. При этом выявляются и включаются в окончательную модель наиболее информативные из них. Так, в качестве факторов могут быть использованы различные метеоданные, что позволит учесть погодный фактор, являющийся основным источником стохастичности в модели.

Модель факторного анализа позволяет представить нормированные значения прогнозируемых параметров системы электроснабжения в следующем виде (формула 4):

$$y_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + d_iU_i \quad (4)$$

где y_i – i -й прогнозируемый параметр; F_j – общие факторы, учитывающие взаимосвязи между исходными параметрами; a_{ij} и d_i – нагрузки соответствующих факторов; U_i – характерный фактор, учитывающий остаточную дисперсию [2].

Однако при неожиданно резком изменении внешних параметров применение этих подходов все же не позволит точно спрогнозировать ситуацию. Например, при резком похолодании. Даже в случае, если известен правильный прогноз погоды, методы не предусматривают возможности его оперативного использования. Поэтому в последнее время все большее внимание со стороны специалистов, занимающихся прогнозом потребления электроэнергии, привлекают искусственные нейронные сети (ИНС).

ИНС обладают некоторыми принципиально важными особенностями. Прежде всего, метод предполагает возможность использования большого количества разнообразных входных параметров, как исторических, так и прогнозных. Функция влияния входного параметра на выходной результат может быть какой угодно сложной (нелинейной, нестационарной) и неизвестной формы. Кроме того, часть входных параметров модели может быть численными, а часть – категориальными. Также возможно неявное использование входных параметров, что подразумевает построение системы ИНС, обученной на определенный случай, например для определенного типа дня или времени года. Общий вход системы ИНС служит для направления данных на вход конкретной ИНС, предназначенной для соответствующей прогнозируемому случаю ситуации.

Схематически общую схему ИНС можно представить следующим образом (4):

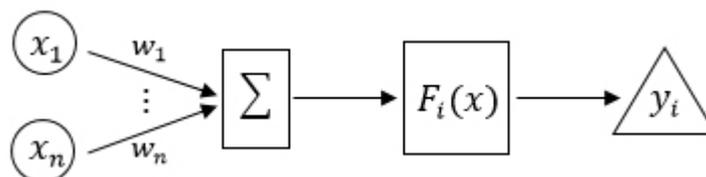


Рис. 5. Общая схема ИНС

На рис. 5 показаны следующие составляющие модели ИНС:

- x_n – массив входных параметров (сигналов).
- w_n – массив весовых коэффициентов.
- $\Sigma = \sum_{i=1}^n x_i w_i$ – сумматор и его выход.
- $F(x)$ – функция активации нейрона.
- y_n – массив выходных данных.

Очень важно правильно подобрать основные входные данные. Первой переменной, которая может быть использована, является сама нагрузка. Какой давности будут использоваться предшествующие наблюдения нагрузки, в каждой задаче прогнозирования решается по-своему. Второй входной переменной может быть температура окружающей среды, так как известно, что электропотребление растет в холодные дни, когда включаются дополнительно электронагревательные устройства, и в жаркие дни, когда включаются кондиционеры. Также могут учитываться и другие переменные, такие, как влажность воздуха и скорость ветра, которые создают дискомфорт для человека и могут объяснить использование нагревательных и охлаждающих приборов. Кроме того, в качестве входных переменных используются уже упомянутые параметры, такие, как долгота дня, количество праздничных дней в месяце, а также разделение на выходные и рабочие дни.

До того как использовать ИНС, ее необходимо обучить на данных, имеющих те же свойства, что и те, которые будут в дальнейшем подаваться на вход. Для обучения используются исторические данные различных ситуаций, то есть для которых уже известны ответы (реальное потребление электроэнергии). Хорошо обученная ИНС может функционировать и в стабильных, и в переменных условиях, так как выход зависит не только от близких предшествующих данных, а от аналогичных, имевших место когда-либо [3,4].

Результаты исследования

Таблица 1

Факторы	Возможные исходные параметры	Применяемые методы
Модели, учитывающие цикличность		
<ul style="list-style-type: none"> Сезонные циклы (обуславливаются температурным фактором: максимум зимой, минимум летом) Суточные циклы (утренние, обеденные и вечерние пики) Недельные циклы (плавный рост к середине рабочей недели и резкое падение в выходные) 	<ul style="list-style-type: none"> Объемы почасового, суточного или месячного потребления электроэнергии Количество праздничных и выходных дней 	<ul style="list-style-type: none"> Аддитивные модели временных рядов Автокорреляционные коэффициенты
Модели, учитывающие стохастичность		
<ul style="list-style-type: none"> Погодный фактор (нетипичные и резкие перепады температуры, повышенное потребление при похолодании) 	<ul style="list-style-type: none"> Температура воздуха Нагрузка электросети (почасовая, суточная) Влажность воздуха и скорость ветра Долгота дня Облачность Количество праздничных и выходных дней 	<ul style="list-style-type: none"> Авторегрессионные модели и факторный анализ (для долгосрочного прогноза) Искусственные нейронные сети (ИНС) (для краткосрочного прогноза)

Список литературы

1. ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы» [Электронный ресурс]. – Ресурс доступа: <http://so-ups.ru/> (дата обращения: 29.05.2015).
2. *Макоклюев Б.И.* Учет влияния метеорологических факторов при прогнозировании электропотребления энергообъединений - Энергетик, 2004. № 4.
3. *Соломкин А.В.* Краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии с помощью нейросетевых методов [Электронный ресурс]. – Ресурс доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2011-1/pdf/Short-Term_Forecasting.pdf (дата обращения: 29.05.2015).
4. *Манусов В.З., Бирюков Е.В.* Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами / Известия ТПУ, 2006 №6 [Электронный ресурс]. – Ресурс доступа: http://cyberleninka.ru/journal/n/izvestiya-tomskogo-politehnicheskogo-universiteta?issue_id=200130#issues-list-title (дата обращения: 29.05.2015).