

УДК 51-74 + 621.31]:004

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ Г. ПЕРМИ

Трушников К.П., Ромодин А.В., Мишуриных С.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка модели долгосрочного прогнозирования потребления электрической энергии в электрических сетях г. Перми. Определена актуальность задачи прогнозирования потребления электрической энергии. Проведен обзор и анализ основных методов прогнозирования потребления электрической энергии. Выявлены преимущества и недостатки каждого метода относительно предлагаемой методики. Рассмотрена методика проверки статистических гипотез о законе распределения графиков потребления электрической энергии, а также методы приведения распределения данных потребления электрической энергии к закону нормального распределения. Предложена модель прогнозирования потребления электрической энергии в городских электрических сетях на 2014 год, представляющая из себя комбинацию основных методов прогнозирования. Выполнен прогноз потребления электрической энергии, с помощью предложенной модели, на 2014 год. Выполнена оценка точности выполненного прогноза.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, долгосрочное прогнозирование, модель, методика прогнозирования

ON METHODOLOGY OF LONG-TERM FORECASTING OF ELECTRICITY NETWORK POWER CONSUMPTION IN PERM CITY.

Trushnikov K.P., Romodin A.V., Mishurinskikh S.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

In this article modeling the long-term forecasting of power consumption of urban electricity networks in Perm city is carried out. Relevance of forecasting power consumption problem is identified. Overview and analysis of the main forecast power consumption methodologies is made. Advantages and disadvantages of each method in comparison with the proposed methodology are identified. Methodology of statistical hypothesis verification on consumption distribution and bringing the consumption data distribution to normal methods are considered. The forecasting power consumption model in urban electricity networks for 2014 as a combination of the main forecasting methods is offered. Power consumption forecast by means of the proposed method for 2014 is made. Evaluation of the forecast accuracy is performed.

Keywords: power consumption, long-time forecasting, model, forecasting methodology

В последние годы вопросу прогнозирования потребления электроэнергии уделялось достаточно большое внимание. Эта задача является достаточно актуальной в связи с тем, что расчет нагрузка узлов электрической сети, распределяющих электроэнергию. Соответственно, появляется задача прогнозирования потребления электроэнергии для того, чтобы правильно распределить потоки мощности в городских электрических сетях, обеспечить их надежную работу и бесперебойность питания потребителей [4–7].

В настоящее время существует множество методов прогнозирования потребления электроэнергии, которые могут давать достаточно точные результаты. Одни из них опираются на данные, полученные от потребителей или же на некоторые нормативы, полученные эмпирическим путем. А другие основываются на обработке статистических данных различными математическими методами или их комбинациями [9].

На величину потребления электроэнергии влияет множество факторов: температурный режим, время суток, погодные условия (в дождливую погоду люди вероятнее останутся дома) и прочие.

Однако в некоторых случаях существует проблема, что массив входных данных недостаточен для прогнозирования с применением распространенных методов. Такой случай рассмотрен в данной работе. Один из подходов, с помощью которого можно решить задачу прогнозирования в условиях малого массива входных данных, рассмотрен на примере подстанции (ПС) «Данилиха».

Далее приведены результаты анализа основных методов прогнозирования, применительно к предлагаемой методике.

Обзор методов прогнозирования электропотребления

Нормативный метод. Нормативные методы основываются на использовании норм расхода энергии по основным видам про-

дукции и секторам экономики. Использование нормативных методов предполагает прогнозирование удельных норм электропотребления на единицу продукции, на койко-место в больнице, на квартиру в многоквартирном доме и т.д.

Для определения величины нагрузки используются некоторые обобщенные показатели, коэффициенты, удельные нагрузки и удельные расходы электроэнергии, полученные на реальных предприятиях определенного типа, в процессе их эксплуатации.

Расчет ведется на основании таблиц удельной расчетной электрической нагрузки электроприемников квартир жилых домов, единицы выпускаемой продукции, единицы площади какого-либо помещения [3–5].

С точки зрения предлагаемой модели к достоинствам данного метода следует отнести то, что он довольно прост и не требует каких-либо сложных вычислений [2].

Метод обработки заявок потребителей. Прогнозирование на основе заявок потребителей достаточно эффективно для отдельных подстанций, узлов сети и менее эффективно для энергорайонов. Другими словами, относительная эффективность данного метода снижается по мере укрупнения территориального подразделения, т.е. по мере увеличения количества потребителей. С помощью этого метода возможно прогнозирование максимальной годовой нагрузки.

В разрезе разрабатываемой модели прогнозирования данный метод не будет давать ответа на главный вопрос, он не будет показывать характер изменения нагрузки, следовательно, его применение не является целесообразным в данной работе [2].

Линейный регрессионный анализ. Регрессионный анализ – метод обработки статистических данных, результатом которого является выявление зависимости случайной величины Y от переменных x_j ($j = 1, 2, \dots, k$), которые рассматриваются в регрессионном анализе как независимые.

Основной целью регрессионного анализа является определение связи между определенной величиной Y исследуемого явления или объекта и величинами x_1, x_2, \dots, x_n , которые объясняют, влияют на изменение Y . Переменная Y называется зависимой переменной, влияющие переменные x_1, x_2, \dots, x_n называются регрессорами. Задачами регрессионного анализа являются: установление формы зависимости, подбор модели регрессии, а также оценка параметров этой модели.

В рамках разрабатываемой модели применение данного метода является невозможным, так как отсутствует минимально необ-

ходимый массив данных, который необходим для построения достоверной модели [1].

Ранговый анализ. Под ранговым распределением понимается распределение, полученное в результате процедуры ранжирования последовательности значений параметра, поставленных соответственно рангу. Ранжирование – процедура упорядочения объектов по степени выраженности какого-либо качества.

Применительно к предлагаемой модели данный метод является достаточно удобным, так как он требует минимального набора исходных данных, а также не требуется, чтобы распределение исходных данных соответствовало закону нормально распределения [10].

Нейросетевое программирование. Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой вычислительные структуры, в которых моделируются процессы, схожие с процессами, происходящими в головном мозге человека.

Нейросети – это распределенные и параллельные системы, которые «умеют» адаптивно обучаться путем реакции на те или иные положительные и отрицательные воздействия.

В рамках данной модели построение нейронной сети не предусматривается. Это обуславливается тем, что данный метод требует значительных затрат времени, что отрицательно влияет на сроки составления прогноза, которые являются одним из основных достоинств предлагаемого метода [9, 11].

Модель прогнозирования электропотребления, на примере потребителей ПС «Данилиха»

В предлагаемой методике проверку статистической гипотезы закона распределения предлагается выполнить в соответствии с [9] по следующему алгоритму (см. рис. 1).

На основе анализа [8] предлагается выполнить оценку точности прогноза электропотребления, используя величину среднеквадратического отклонения согласно формуле

$$E_{\text{СКО}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{\text{Ф}i} - \bar{Y})^2}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{Ф}i}$ – фактическое значение параметра; \bar{Y} – среднее значение прогнозного параметра; n – количество точек на оцениваемом интервале упреждения.

Расчет модели прогнозирования электропотребления. Методы прогнозирования [1–8] имеют свои ограничения, и решить задачу прогнозирования потребления электроэнергии в городских электрических сетях

не удастся эффективно решить, используя только один из методов. Анализ дает нам методы применительно для данных условий. Рассмотрим комбинацию нормативного метода и рангового анализа.

Суть многих математических методов состоит в обработке обобщенных данных потребления электроэнергии, без разделения потребителей по отдельным группам. Возможно, прогноз потребления одной группой потребителей будет более точным, если вычисления произвести с помощью одного метода прогнозирования, а для другой группы более подходящим будет другой метод прогнозирования.

При таком подходе, после произведения отдельных вычислений, прогнозы можно будет просуммировать и получить уже общий прогноз, на который можно будет опираться при планировании нагрузки на узлы системы электроснабжения.

В жилых районах электрическая нагрузка представлена следующими группами потребителей:

- жилые дома;
- детские сады, школы, больницы;
- торговые центры;
- офисные здания;

– уличное освещение.

Исходными данными являлись:

- показания потребления электроэнергии жилыми домами;
- показания потребления электроэнергии школами и детскими садами;
- показания потребления электроэнергии торговыми центрами и офисными зданиями;
- протяженность дорог, средняя установленная мощность светильников, длительность осветительного периода;
- данные приборов учета ПС «Данилиха» за 2014 год.

Дискретность сбора данных составляла один месяц. Данные касались потребителей, питаемых от ПС «Данилиха».

Для различных типов зданий основными параметрами предлагается считать:

- жилые дома: типы домов и количество жильцов в них;
- детские сады и школы: ретроспективные данные потребления электроэнергии;
- офисные здания и торговые центры: площадь зданий;
- уличное освещение: протяженность дорог, средняя установленная мощность светильников, длительность осветительного периода.

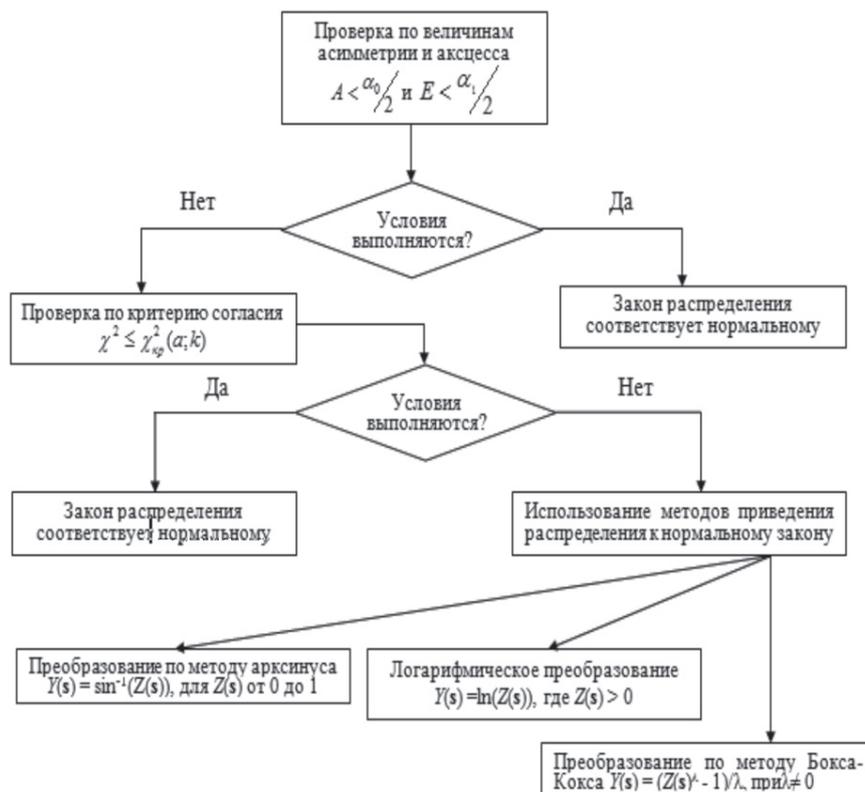


Рис. 1. Алгоритм проверки и приведения распределения данных к закону нормального распределения

Модель представляет собой многокомпонентное уравнение (2), где каждое из слагаемых отражает потребление электроэнергии той или иной группы потребителей.

$$W_{\Sigma} = W_{ду} + W_{жд} + W_{оз} + W_{б} + W_{yo}, \quad (2)$$

где W_{Σ} – суммарное потребление электроэнергии,

$W_{ду}$ – потребление электроэнергии школами и детскими садами,

$W_{жд}$ – потребление электроэнергии жилыми домами,

$W_{оз}$ – потребление электроэнергии офисными зданиями и торговыми центрами,

$W_{б}$ – потребление электроэнергии больницами,

W_{yo} – потребление электроэнергии уличным освещением.

Расчет будет вестись для потребителей, питаемых от ПС «Данилиха».

На рис. 2–3 отражены прогнозные и реальные графики электропотребления.

Для прогнозирования потребления электроэнергии жилыми домами, торговыми центрами и офисными зданиями, а также уличным освещением расчет выполнен на основе усредненного показателя потребления (для домов на одного жильца, для торговых центров на единицу площади здания, для уличного освещения по установленной мощности светильников на единицу длины проезжей части). Электропотребление детских садов определено с помощью рангового анализа, а больниц и поликлиник – с помощью нормативного метода.

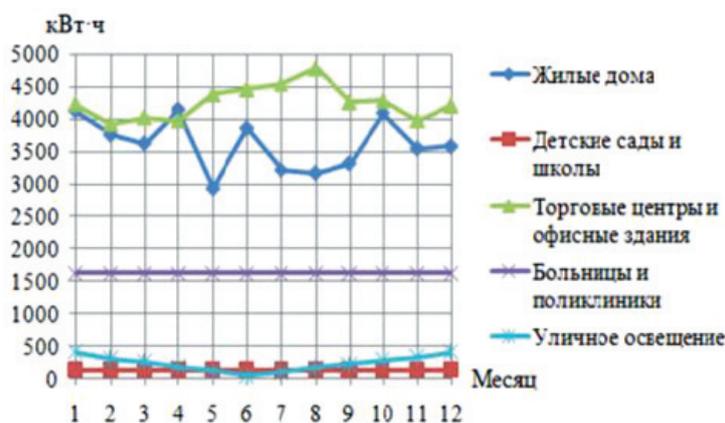


Рис. 2. Потребление электроэнергии каждой группой потребителей в отдельности. Примечание: Цифры по оси месяцев показывают порядковый номер месяца в году

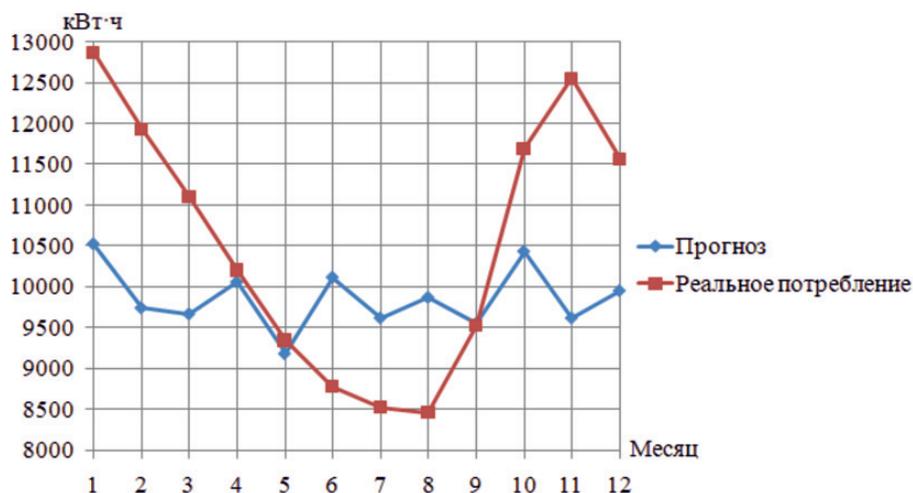


Рис. 3. Графики потребления электроэнергии. Примечание: Цифры по оси месяцев показывают порядковый номер месяца в году

Оценка точности прогноза. По формуле (1) определим погрешности прогноза.

Среднеквадратическое отклонение ошибок прогноза:

$$E_{\text{СКО}} = 1753,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Заключение

Представленный метод прогнозирования показывает среднюю ошибку 12%, что является достаточным при имеющемся массиве начальных данных, а также скорости, с которой производятся вычисления [1].

Данная модель проста с точки зрения расчетов и сбора информации. Модель может работать даже при минимальном массиве данных. Количество факторов, влияющих на величину электропотребления, выбрано минимально возможным. Это избавляет от погрешностей, связанных с наличием большого количества переменных.

В случае, если результаты прогнозирования не удовлетворяют заданной точности, в методике предусмотрено внесение уточнений.

Дальнейшим направлением исследований является обучение модели на основе полученных статистических данных на объемах электропотребления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0134 от 01.12.2015 г. в состав мероприятий по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ / Пер. с болгар. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 239 с.
2. Матюнина Ю.В. Электропотребление электротехнических систем // Электрика. – 2007. – № 1. – С. 1–5.
3. Методика прогнозирования графиков электропотребления для технологий краткосрочного планирования [Электронный ресурс]. – URL: http://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/market_regulations/schedules.pdf (дата обращения: 02.05.2015).
4. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 49–54.
5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.
6. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.

7. Петроченков А.Б., Франк Т., Ромодин А.В., Кычкин А.В. Полунатурное моделирование активно-адаптивной электрической сети // Электротехника. – 2013. – № 11. – С. 60–63.

8. Порунов А.Н. Методика приведения ненормально распределенного ряда к нормальному распределению и оценка методической ошибки // IT-бизнес. – 2011. – № 2. – С. 3–8.

9. Ромодин А.В., Андриевская Н.В. Долгосрочное прогнозирование электропотребления на основе искусственной нейронной сети // Системы мониторинга и управления: Сб. науч. тр. / ПГТУ. – Пермь, 2008. – С. 132–137.

10. Садыков Р.И., Потанин А.В., Николаев В.А. О планировании электропотребления учреждений бюджетной сферы на основе устойчивого N-распределения / Вестник ПНИПУ. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2006. – 344 с.

11. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Модели прогнозирования нагрузок на основе аппарата искусственных нейронных сетей // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 51. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2000.

References

1. Vuchkov I., Bojadzhieva L., Solakov E. Prikladnoj lineynij regressionnyj analiz / Per. s bulgar. M.: Finansy i statistika, 1987. 239 p.
2. Matjunina Ju.V. Jeletropotreblenie jelectrotehnicheskij sistem // Jelektrika. 2007. no. 1. pp. 1–5.
3. Metodika prognozirovanija grafikov jeletropotreblenija dlja tehnologij kratkosrochnogo planirovanija [Jeletronnyj resurs]. URL: http://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/market_regulations/schedules.pdf (data obrashhenija: 02.05.2015).
4. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jelectrotehnika. 2010. no. 6. pp. 49–54.
5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podhodov k postroeniju kompleksa «Jenergooptimizator» // Jelectro. Jelectrotehnika, jelectroenergetika, jelectrotehnicheskaja promyshlennost. 2013. no. 4. pp. 20–25.
6. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Horoshev N.I. Ob odnom formalizovannom metode ocenki upravlencheskih reshenij (na primere upravljenija jelectrotehnicheskimi obektami) // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2009. no. 87. pp. 166–171.
7. Petrochenkov A.B., Frank T., Romodin A.V., Kychkin A.V. Polunaturnoe modelirovanie aktivno-adaptivnoj jelectricheskoj seti // Jelectrotehnika. 2013. no. 11. pp. 60–63.
8. Porunov A.N. Metodika privedenija nenormalno raspredelenno go rjada k normalnomu raspredeleniju i ocenka metodicheskoj oshibki // IT-biznes. 2011. no. 2. pp. 3–8.
9. Romodin A.V., Andrievskaja N.V. Dolgosrochnoe prognozirovanie jeletropotreblenija na osnove iskusstvennoj nejronnoj seti // Sistemy monitoringa i upravlenija: Sb. nauch. tr. / PGTU. Perm, 2008. pp. 132–137.
10. Sadykov R.I., Potanin A.V., Nikolaev V.A. O planirovanii jeletropotreblenija uchrezhdenij bjudzhetnoj sfery na osnove ustojchivogo N-raspredelenija / Vestnik PNIPIU. Perm: Izd-vo PNIPIU, 2006. 344 p.
11. Shumilova G.P., Gotman N.E., Starceva T.B. Modeli prognozirovanija nagruzok na osnove apparata iskusstvennyh nejronnyh setej // Metodicheskie voprosy issledovanija nadezhnosti bolshih sistem jenergetiki. Vyp. 51. Syktyvkar: Izd-vo Komi NC UrO RAN, 2000.