

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Деримедведь Константин Григорьевич

Аспирант,

АНО ВО «Российский новый университет», г. Москва

mmt99@mail.ru

METHODS OF FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION

K. Derimedved

Summary: The article presents the results related to the justification of methods for forecasting electricity consumption. It is established that modern methods of forecasting electrical loads of power consumption systems have their own components of effective functioning. It is proved that operational forecasting of electrical loads is one of the most important components in the decision-making process in matters of power consumption control. It is determined that virtually every important operational decision depends to some extent on the quality of operational determination and the accuracy of forecasting. It is found out that the features of the analysis of modern methods of forecasting the loads of power consumption systems are dictated by the need to solve scientific, scientific-practical, technical and economic problems.

Keywords: method, forecast, consumption, electricity, solution, quality, load.

В современных условиях рыночной экономики эффективное использование электрической энергии является одной из важнейших проблем электроэнергетики Российской Федерации. Это обусловлено ростом цен на электроэнергию и ростом ее доли в себестоимости продукции. В последние годы в Российской Федерации меняется структура электропотребления.

Новые места электропотребления, количество которых стремительно растет, характеризуются значительным количеством нескоординированных потребителей, что приводит к значительному повышению уровня стохастических колебаний потребления в течение суток, а также к изменению сезонных колебаний электропотребления в течение года.

Более того, именно вследствие отсутствия координации между отдельными потребителями могут возникать большие отклонения в электропотреблении, амплитуда которых может превышать критические для поставщика электроэнергии значения. Это может привести к аварийным ситуациям, особенно в условиях высокого уровня изношенности оборудования электротехнических систем.

Направлением, позволяющим сократить расходы и избежать критических ситуаций, является оперативное прогнозирование электропотребления, которое помогает эффективно планировать и нормировать потребление электрической энергии, обеспечивать эффек-

Аннотация. В статье представлены результаты, связанные с обоснованием методов прогнозирования потребления электроэнергии. Установлено, что современные методы прогнозирования электрических нагрузок систем электропотребления имеют свои составляющие эффективного функционирования. Доказано, что оперативное прогнозирование электрических нагрузок является одной из наиболее важных составляющих в процессе принятия решений в вопросах контроля электропотребления. Определено, что фактически каждое важное рабочее решение в некоторой степени зависит от качества оперативного определения и точности прогнозирования. Выяснено, что особенности анализа современных методов прогнозирования нагрузок систем электропотребления продиктованы необходимостью решения научных, научно-практических, технико-экономических задач.

Ключевые слова: метод, прогноз, потребление, электроэнергия, решение, качество, нагрузка.

тивное использование разнотипного технологического оборудования.

Оперативное прогнозирование электропотребления промышленных предприятий имеет важное значение в условиях развития Smart Grid-технологий. Прежде всего, необходимо оно для того, чтобы оптимизировать графики выработки электроэнергии, за счет прогнозирования электроспотребления. В случае, когда невозможно поддерживать баланс путем генерирования электроэнергии, возможно изменение графиков электрических нагрузок предприятий-регуляторов. Таким образом обеспечивается гибкая двусторонняя связь потоков электроэнергии и информации между энергообъектами. В частности, это и теория фракталов, которая позволяет с другой стороны рассмотреть процесс прогнозирования электропотребления.

Проблемам развития электроэнергетики посвящены работы М.В. Артемичева [1], А.Э. Валиуллина [2], В.В. Карпова [3], В.Г. Курбацкого [4], Г.В. Мятишкина [5], С.А. Намова [6] и др. Тем не менее, достаточное количество теоретических и научно-прикладных вопросов прогнозирования потребления электроэнергии остаются еще мало изученными и недостаточно решенными.

Общее состояние современных методов прогнозирования электрических нагрузок определяется значительным изменением парадигмы энергопотребления. Именно это является основой для возможности эффективного

применения математических процедур и алгоритмов при решении задач детерминированного и стохастического анализа электромеханических систем, электропитания мощных технологических комплексов.

Первые работы на тему оперативного, краткосрочного, среднесрочного прогнозирования электрических нагрузок появились в середине прошлого века. Однако и в настоящее время поток публикаций в этом направлении не уменьшается, а методы прогнозирования электрических нагрузок систем электропотребления продолжают стремительно развиваться. Это обусловлено, в первую очередь, сложностью задач, которые связаны с непрерывным развитием систем электропотребления, не исследованностью случайных процессов, формирующих режимы их функционирования.

При этом основные исследования в электроэнергетике направлены на решение проблем энергосистем. Кроме того, вопросам прогнозирования электрических нагрузок систем электропотребления уделяется меньше внимания. Под системой электропотребления мы понимаем совокупность взаимосвязанных электротехнических комплексов, отдельные электротехнические комплексы, электроприемники предприятий, характеризующиеся обобщенными параметрами электрической нагрузки.

Прогнозирование режимов функционирования электрических нагрузок систем электропотребления необходимо для решения научных, научно-практических, технико-экономических задач управления и принятия решений. В общем случае можно рассмотреть следующие виды прогнозов:

- часовой прогноз, применяемый для прогнозирования электрической нагрузки со сроком до одного часа;
- оперативный прогноз, используемый для прогнозирования почасовой электрической нагрузки в пределах одного дня;
- краткосрочный прогноз, применяется для прогнозирования суточного электропотребления и почасового определения нагрузок недельным уклоном;
- месячный прогноз, который используется для суточного электросопротивления до конца текущего месяца;
- среднесрочный прогноз, который можно применить для исследования вопросов прогнозирования месячного электропотребления, недельных и месячных экстремумов (максимумов и минимумов) электрических нагрузок со сроком 1–12 месяцев;
- долгосрочный прогноз, который можно использовать для прогнозирования со сроком 1–5 лет;
- перспективный прогноз, который можно применить для прогнозирования со сроком более пяти лет.

Особое внимание в этом случае заслуживает оперативное прогнозирование, для которого достаточно часто используют метод эталонного графика, где берутся усредненные за определенный промежуток времени значения потребления электрической энергии в качестве типичного графика. Такой типичный график корректируется во время появления новых данных. В настоящее время для оперативного прогнозирования в основном используют однофакторные модели.

Практика показала, что прогнозирование является одной из тех задач статистического анализа, которые являются очень необходимыми, но в то же время очень сложными для оперативного прогнозирования электрических нагрузок систем электропотребления. Особое место в этом случае занимает фрактальный анализ. При этом зарождение теории фрактальных множеств и фрактальной геометрии связывают с именем математика Бенуа Мандельбротом. Основная его идея: традиционная геометрия с прямыми линиями и гладкими поверхностями не подходит для описания разнообразных природных объектов, для этого стоит использовать специальные структуры — фракталы. В переводе с английского языка слово «fractal» означает «состоящий из частей» [7–9].

В то же время фракталом называется структура, которая состоит из частей, и в некотором смысле подобна целому. Следовательно, фрактал — это самоподобная структура, свиток который не зависит от масштаба; это рекурсивная модель, каждая часть которой повторяет в своем развитии развитие всей модели в целом. В теории фрактальных множеств и фрактальной геометрии значительную роль играют самоподобные и фрактальные множества.

Рассмотрим несколько классических примеров фрактальных самоподобных множеств. Они помогут понять особенности самоподобия графиков электрических нагрузок. Чтобы получить кривую Коха, необходимо разделить отрезок на три равные части, на средней из которых построить правильный треугольник. Каждую из сторон образовавшейся фигуры снова разделить на три равные части и на средних из них построить правильные треугольники и т.д.

Результатом этого процесса будет кривая Коха, которая является самоподобной: состоит из четырех частей, похожих на всю кривую с коэффициентом сходства $1/3$. Кривая Коха является кривой бесконечной длины. Если рассмотреть снежинку Коха (для ее построения необходимо преобразовать стороны равностороннего треугольника), то в этом случае будет кривая бесконечной длины.

Общим для рассматриваемых примеров является самоподобие и различие их топологической и самопо-

добной размерностей. Топологическая размерность фрактальных множеств и фрактальной геометрии имеют такое определение. Топологической размерностью $\dim X$ компактного множества X называют наименьшее целое число n , у которого для любого $\varepsilon > 0$ существует конечная совокупность замкнутых множеств. Данные множества покрывают X , диаметр которых не более ε , причем никакие $n + 2$ из этих множеств не имеют общей точки.

Иными словами, множественное число X имеет топологическую размерность n , если его можно покрыть замкнутыми множествами сколь угодно малого диаметра, так, чтобы ни одна из точек X не принадлежала разнобразным $n + 2$ множествам, покрывающим X , однако были точки, принадлежащие $n + 1$ множествам. Согласно этому определению, кривая Коха и круг имеют одинаковую топологическую размерность, которая равняется 1.

Создание главного инструментария фрактального анализа и методологии R/S -анализа относится к середине XX-го столетия и принадлежит гидрологу Херсту. Херст ввел безразмерное соотношение с помощью деления размаха R на стандартное отклонение наблюдений S . Такой метод анализа принято называть методом нормированного размаха (R/S -анализ). Он показывает, что большинство природных явлений подчиняются так называемому тренду с шумом. Сила такого тренда и уровень шума можно количественно определить так, как изменяется нормированный размах колебания со временем ($n > 0,5$). График электрических нагрузок (ГЭН) также можно представить как тренд с шумом и определить показатель Херста.

При этом можно рассмотреть модель прогнозирования ARIMA (от англ. Autoregressive integrated moving average) — интегрированная модель авторегрессии — переменного среднего, модель и методология анализа временных рядов.

Процесс авторегрессии p -го порядка в его классическом понимании может быть представлен в форме:

$$y_t = p_1 y_{t-1} + p_2 y_{t-2} + \dots + p_p y_{t-p} + e_t \quad (1)$$

Процесс переменного среднего q -го порядка в его классическом понимании может быть представлен в форме:

$$y_t = e_t + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} \quad (2)$$

Также для прогнозирования используются нейронные сети — самообучающиеся системы, имитирующие деятельность человеческого мозга.

Состояние нейрона определяется по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i w_i, \quad (3)$$

где n — число входов нейрона; x_i — значение i -го входа нейрона; w_i — вес i -го синапса.

В этом случае актуальной является диаграмма прецедентов - диаграмма, на которой отражены отношения, существующие между прецедентами. Чаще всего с помощью прецедентов моделируют поведение элемента: системы в целом и подсистемы или класса. При этом важно сконцентрироваться исключительно на том, что должен делать элемент, а не на том, как он это будет делать. Здесь можно выделить роль пользователя, которая заключается в получении прогноза потребления на основе данных.

В этих условиях пользователь должен выбрать приоритет оценки, установить весовые коэффициенты к каждому показателю, занести оценки экспертов в программу, провести расчет и получить общую оценку и статистические данные. При этом диаграмма прецедентов программного комплекса представлена на рис. 1.

Диаграммы классов применяют для моделирования статического вида системы с точки зрения проектирования. В этом случае программа авторизует пользователя. Пользователь выбирает данные потребителя для дальнейшего прогнозирования. Программа выполняет расчет прогноза по определенным методам с помощью загруженных данных.

В этих условиях пользователь запрашивает данные для прогнозирования за предыдущий период. Затем он выбирает модель прогнозирования дальнейшего потребления. В дальнейшем пользователь может изменить модель прогнозирования. После этого он получает данные прогнозирования согласно выбранной модели, а программа хранит эти данные.

Подводя итоги, можно отметить, что современные методы прогнозирования электрических нагрузок систем электропотребления имеют свои составляющие эффективного функционирования. Оперативное прогнозирование электрических нагрузок является одной из наиболее важных составляющих в процессе принятия решений в вопросах контроля электропотребления. Фактически каждое важное рабочее решение в некоторой степени зависит от качества оперативного определения и точности прогнозирования.

Особенности анализа современных методов прогнозирования нагрузок систем электропотребления продиктованы необходимостью решения научных, научно-практических, технико-экономических задач. Обзор современных методов прогнозирования электрических

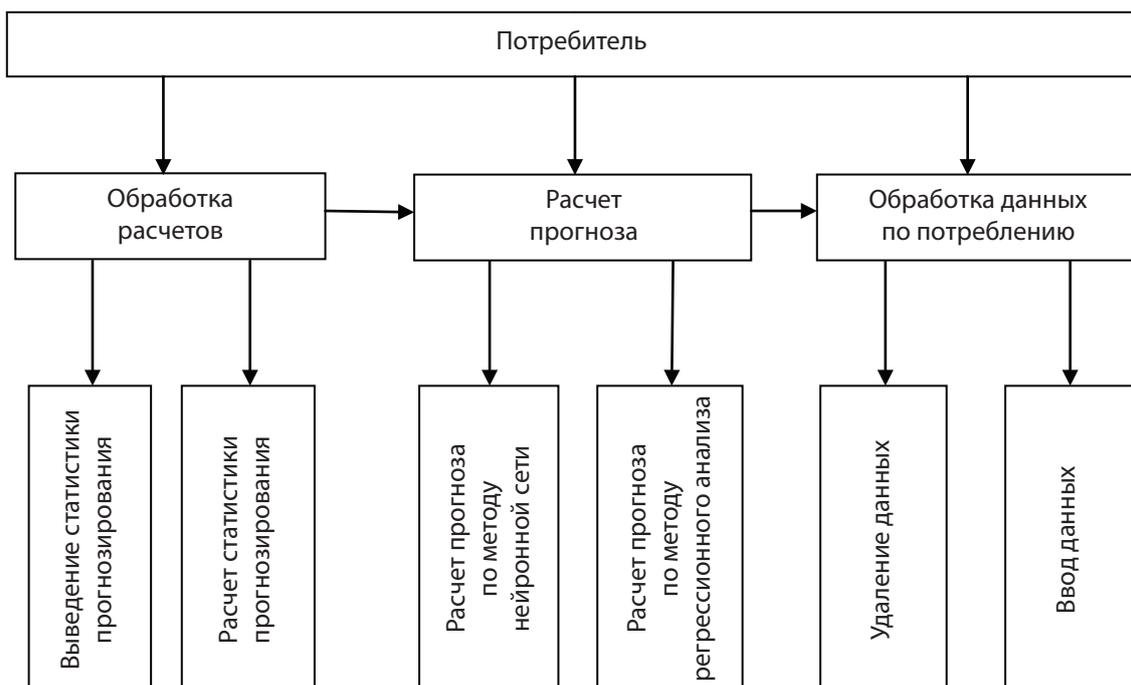


Рис. 1. Программный комплекс для прогнозирования потребления электроэнергии

нагрузок систем электропотребления сводится к необходимости корректного использования классического математического аппарата временных рядов с адапта-

цией его к возможности использования результатов новых информационных технологий, а также использования искусственных нейронных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемичев, М.В. Системы прогнозирования генерации электроэнергии АЭС на базе инновационных информационных технологий [Текст] / М.В. Артемичев, В.А. Кабанов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2013. — № 4–2 (183). — С. 288–292.
2. Валиуллин, А.Э. Исследование тенденций потребления энергетических ресурсов в российской промышленности на основе статистического энергобаланса [Текст] / А.Э. Валиуллин // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. — 2022. — № 3 (94). — С. 146–154.
3. Карпов, В.В. Структурные изменения в энергетической отрасли России: оценка и межстрановые сравнения [Текст] / В.В. Карпов, Р.И. Чупин, М.С. Харламова // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. — 2020. — Т. 15. — № 3. — С. 405–422.
4. Курбачкий, В.Г. Практика использования новых информационных технологий для прогнозирования и анализа отдельных характеристик сетевых энергопредприятий [Текст] / В.Г. Курбачкий, Н.В. Томин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. — 2006. — № 3–4. — С. 85–92.
5. Мятишкин, Г.В. Требования к разработке комплекса нормативной документации по управлению энергетическими затратами промышленного производства в условиях функционирующего рынка электроэнергии и мощности РФ [Текст] / Г.В. Мятишкин, А.С. Филинова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2018. — Т. 20. — № 6 (86). — С. 166–170.
6. Наумов, С.А. Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования [Текст] / С.А. Наумов, А.В. Крымский, М.А. Липатов, Д.Н. Скрабатун // Теплоэнергетика. — 2018. — № 4. — С. 21–33.
7. Поршневу, С.В. Нейросетевое прогнозирование временных рядов, содержащих часовые значения стоимости электроэнергии на российском оптовом рынке электрической мощности [Текст] / С.В. Поршневу, И.В. Осинцев // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5. — С. 218.
8. Староверов, Б.А. Применение нейросетевых информационных систем прогнозирования для принятия решений по оптовой закупке электроэнергии [Текст] / Б.А. Староверов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. — 2021. — № 4 (62). — С. 65–70.
9. Хомутов, С.О. Повышение качества краткосрочного прогнозирования электропотребления группы точек поставки электроэнергии сельхозпроизводителей с помощью инструментов машинного обучения [Текст] / С.О. Хомутов, Н.А. Серебряков // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. — 2019. — № 3 (76). — С. 149–168.

© Деримедведь Константин Григорьевич (mmm99@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»