

Кластерный анализ графиков нагрузки

Одно из перспективных направлений исследования процессов электропотребления основано на использовании математического аппарата кластерного анализа. В энергетике кластерный анализ применяется сравнительно недавно. Сейчас над развитием этого метода работает широкий круг специалистов: математики, программисты, энергетики.

Основное назначение кластерного анализа заключается в разделении всей совокупности объектов, например, графиков электрической нагрузки, на несколько групп – характерных моделей.

Несмотря на широкое использование методов кластерного анализа в социологии, медицине, биологии и экономике, идея анализа графиков электрической нагрузки была описана лишь в 1980 году. Американец В. Дерек в журнале «Applied Mathematical Modelling» («Прикладное математическое моделирование») опубликовал статью на эту тему. В ней были представлены результаты экспериментальных исследований с применением метода Байеса для суточного прогнозирования электропотребления на основании базы данных по суточным графикам нагрузки.

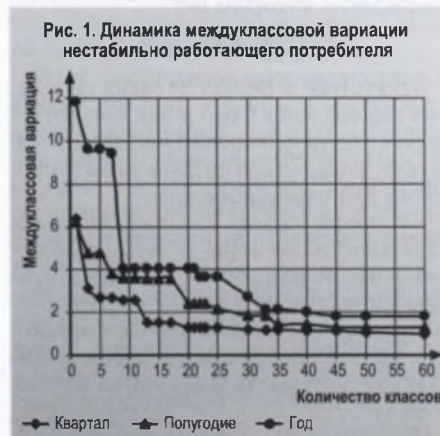
Метод Байеса предполагает классификацию l дней по i признакам, чтобы создать m различных типов графиков, а также выбор модели отдельного дня по заданным критериям. Аналогичные исследования выполнялись и в России учеными Новочеркасского политехнического института.

Метод Байеса для анализа графиков нагрузки применительно к прогнозированию договорных значений мощности существенно развита Н. Токочакова в своей кандидатской диссертации в 1990 году. Ее работа включала алгоритм, программу и результаты кластерного анализа суточного электропотребления и типовых графиков нагрузки предприятий различных отраслей Гомельской области. На каждом шаге классификации сравнивались междуклассовые расстояния группировок графиков и рассчитывался их функционал качества, характеризующий междуклассовую вариацию признака кластеризации. При вычислении расстояния между графиками интервалы, соответствующие времени прохождения утреннего и вечернего максимума нагрузки, имеют вес 0,8, а все остальные интервалов принимается равным 0,2. В результате определяется предварительно заданное количество кластеров графиков нагрузки. В научных исследованиях рассматривалось разделение на 15 классов, что соответствовало точке перелома кривой междуклассовой вариации. В настоящее время для решения задач управления электропотреблением за основу принято разделение на 10 классов.

Данные методы на отечественных предприятиях ранее не применялись, поскольку не были внедрены современные системы учета. В последние годы ситуация с оснащением предприятий этими приборами меняется в лучшую сторону. Одновременно ставится за-

дача расширить функциональные возможности систем учета на основе современных математических методов анализа режимов электропотребления.

В последние годы многие предприятия работают нестабильно, что отражается на динамике режимов электропотребления. Поэтому нужно расширить функциональные возможности автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии, адаптировав их к нестабильным условиям электропотребления. В частности, необходимо уточнить задаваемое количество классов при кластеризации графиков нагрузки, поскольку для нестабильно работающих потребителей может быть несколько точек перелома кривой меж-



дуклассовой вариации, и она может менять свое положение (рис. 1). Это значит, что фиксированное количество классов не всегда отражает всю совокупность графиков нагрузки нестабильно работающего потребителя. В данном случае рационально принимать 13 классов при кластеризации суточных графиков за квартал, 20 – за полугодие и 9 – за год (рис. 1). Аналогичные выводы получены для ряда других потребителей электроэнергии.

Для решения проблемы на кафедре «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета имени П. Сухого в 2002 году разработали алгоритм поиска оптимального количества классов с заданной междуклассовой вариацией. В соответствии с алгоритмом, процесс кластеризации следует повторять до тех пор, пока функцио-

нал качества класса не превысит заданное значение:

$$F_{K_i} = \sqrt{\sum_{s=1}^k \sum_{f=1}^m \omega_s (S_{f,s}^i - m_{nK_i})^2} \leq F_{зад},$$

где k – количество графиков, входящих в класс K_i ;

m_{nK_i} – значение мощности i интервала усредненного графика класса K_i .

Функционал качества характеризует степень отличия профилей графиков нагрузки в классе. Поэтому, задавая предельное значение $F_{зад}$ и сравнивая с ним значения F_{K_i} , полученные на каждом шаге кластеризации, количество классов графиков нагрузки определится автоматически. Такие результаты более точно, нежели предварительно заданное количество кластеров, отражают всю совокупность графиков нагрузки. Например, в случае классификации суточных графиков за полугодие на 7–17 классов значение F_{K_i} для рассматриваемого потребителя составит около 4, а при кластеризации предложенным способом – 2,4 (рис. 1).

Алгоритмы представляют собой программу для ЭВМ, разработанную студентом Гомельского государственного университета им. П. Сухого Александром Фиковым. Функциональные возможности и результаты работы программы описаны автором статьи и Н. Токочаковой в работе «Программный комплекс «Режим-Электро» для развития специализированного программного обеспечения системы «Автоматизация электропотребления» и в статье «Анализ графиков электрической нагрузки. Алгоритм и программа», опубликованной в № 6 журнала «Энергетика и ТЭК» за 2005 год.

Кластерный анализ режимов электропотребления широко применяется в энергетике Франции для решения задач прогнозирования электрических нагрузок потребителей. Результаты использования аппарата в России в 2005 году были описаны в докторской диссертации А. Седова, выполненной в Южнороссийском государственном техническом университете. Применение пяти моделей базисных функций позволило моделировать суточные графики нагрузки с точностью до 2–4 процентов в наиболее сложные интервалы года.

Таким образом, кластерный анализ электрических нагрузок позволяет достоверно решать прикладные задачи управления электропотреблением, а соответствующее программное обеспечение позволит расширить функциональные возможности систем автоматизированного учета и контроля электроэнергии.

Юрий КОЛЕСНИК,
кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
«Электроснабжение»
Гомельского государственного
технического университета
им. П. Сухого

В № 6 журнала «Энергетика и ТЭК» за 2005 год была опубликована статья Ю. Колесника «Анализ графиков электрической нагрузки. Алгоритм и программа». Поскольку вопрос авторства кластерного анализа графиков нагрузки является спорным, по просьбе Ю. Колесника мы публикуем материал о развитии идей в этой области и об ученых, которые внесли существенный вклад в становление данного метода анализа.