

# МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ВЕЙВЛЕТ- ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

## Введение

В настоящее время вейвлет – преобразование получило широкое применение для анализа нестационарных информационных сигналов. Целесообразность его использования в электроэнергетике обуславливается тем, что графики электрических нагрузок (ГЭН) носят аperiodический и нелинейный характер. Учитывая, что вейвлет – анализ представляет собой особый тип линейного преобразования информационных сигналов и отображаемых этими сигналами физических данных о процессах и физических свойствах природных сред и объектов, данный метод может быть успешно использован для математической обработки необходимых сигналов. С его помощью можно не только выявить характерные частоты сигнала, но и получить сведения об определенных локальных координатах, при которых проявляются эти частоты [1]. Результатом вейвлет – преобразования являются вейвлет – коэффициенты, которые в дальнейшем поддаются кластеризации, то есть автоматическому разбиению на группы по общему признаку [2].

Иными словами кластеризация представляет собой рациональный способ разложения данных и формирование представительных выборок.

Существующие методы кластерного анализа ГЭН представляют собой классический математический аппарат [3]. Например, для обработки графиков ГЭН часто используется кластеризация с учетом распределения плотности вероятности по нормальному закону. Но этот метод, в отличие от предлагаемого, имеет усложненный алгоритм вычислений и требует дополнительного определения пределов между кластерами. Кроме того, он не четко отображает разные по форме ГЭН. Исходя из того, что электрические сети постоянно изменяются, и при этом часто возрастает количество измеряемых параметров, возникает необходимость усовершенствования методов кластеризации с дальнейшим упрощением алгоритмов и сохраняемых данных.

В данной работе рассматривается метод кластеризации ГЭН на основе адаптивного коэффициента отклонения относительно общей выборки значений. В качестве вектора признаков для кластеризации рассматривается упорядоченная последовательность средних мощностей вейвлет – коэффициентов по субполосам [4].

**Постановка задачи**

Вектор признаков кластеризации ГЭН формируется следующим образом (рис. 1). В вейвлет – спектре, сформированном на основе вейвлет – пакетов, усредняется мощность рассчитанных вейвлет – коэффициентов (аппроксимирующих и детализирующих) в пределах каждой субполосы разложения ( $k_{m,n}(i)$ ). Усредненные коэффициенты ( $\bar{P}_{m,n}$ ) нормируются и, в соответствии с их местами в общей пирамиде вейвлет – пакетов (слева – направо и сверху – вниз) [5], преобразуются в вектор признаков кластеризации  $Y$ .

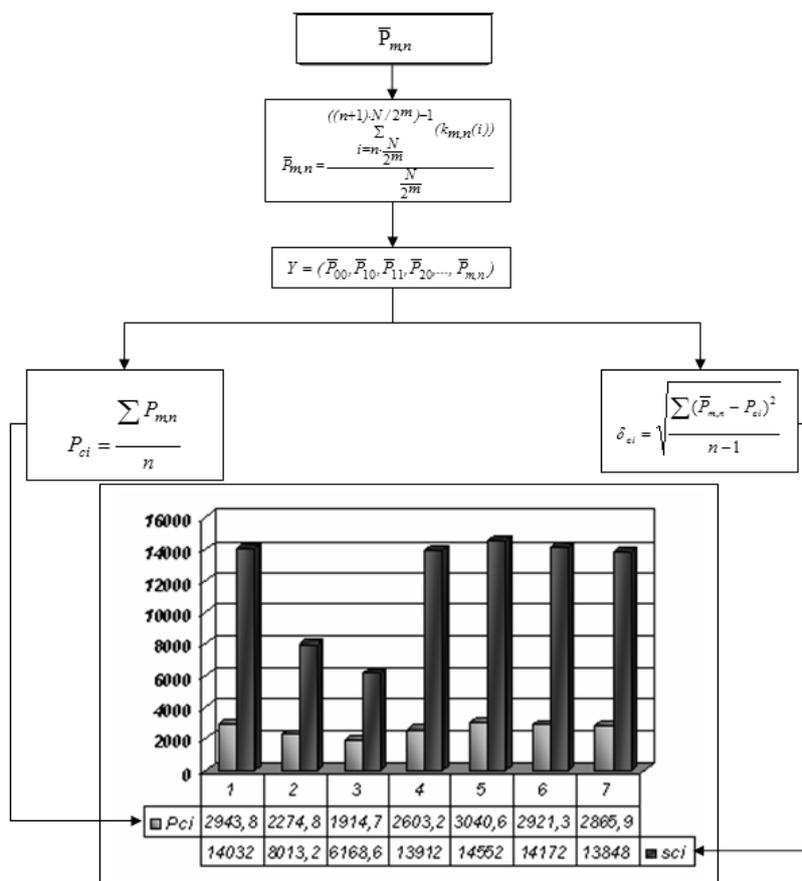


Рис. 1. Расчет базисных параметров преобразованных выборок данных:  
 m – шаг разложения;  
 N – общее количество вейвлет – коэффициентов на m – ом шаге разложения;  
 n – порядковый номер вейвлет – коэффициента на определенном шаге разложения;  
 k<sub>m,n</sub> – значение вейвлет – коэффициента на 5-ом шаге разложения

Вначале определяется вид закона распределения нормированных коэффициентов вектора признаков. Предполагается, что члены ряда (вектора признаков) независимы друг от друга и носят случайный характер. Для установления закона распределения рассчитываются основные характеристические параметры ряда – среднее значение ( $P_{ci}$ ) и среднее отклонение ( $\delta_{ci}$ ). Результаты вычислений приведены на рис. 1. Анализ полученных значений показал, что закон распределения данных вектора признаков является нормальным, что будет учитываться при проведении дальнейших исследований.

#### Кластеризация на основе адаптивного коэффициента отклонения относительно общей выборки значений

Часто для оценки степени отклонения относительно среднего значения используется коэффициент вариации, который в отличие от среднего квадратичного или стандартного отклонения характеризует не абсолютную, а относительную меру разброса значений признака в статистической зависимости.

При этом использование коэффициента вариации позволяет:

- 1) сравнить вариацию одного и того же признака разных групп объектов;
- 2) выявить степень различия одного и того же признака у одной и той же группы объектов в разное время;
- 3) сопоставить вариацию разных признаков у одних и тех же групп объектов.

Коэффициент вариации определяется как

$$\gamma = \frac{\delta_i}{\bar{P}_{ci}}. \quad (1)$$

В связи с тем, что коэффициент вариации не в полной мере отображает классовые отличия между ГЭН, как отмечается в публикации [6], с использованием выражения (1) невозможно произвести четкую кластеризацию данных. Более эффективным показателем для кластеризации данных является следующий коэффициент:

$$\beta = \frac{D_i}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n}}, \quad (2)$$

где  $D_i$  – дисперсия, которая определяется по выражению

$$D_i = \sum_{i,j=1}^{m,n} (P_{m,n} - \bar{P}_{ci})^2. \quad (3)$$

Результаты вычислений представим графически, проанализировав семь суточных ГЭН (рис. 2).

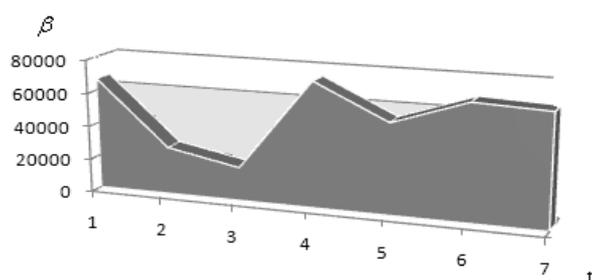


Рис. 2. Кластеризация ГЭН по адаптивному коэффициенту степени отклонения относительно всей выборки значений

Как показали результаты проведения кластеризации с учетом адаптивного коэффициента степени отклонения относительно всей выборки значений, формируются две группы вариационных рядов. Полученные группы соответствуют различным видам графиков потребления, а значит и есть решением поставленной задачи. Отнесение к определенной группе производится на основе следующего выражения:

$$\beta \leq \beta_{пред} \text{ и } \beta > \beta_{пред}, \quad (4)$$

где  $\beta_{пред}$  – граничное значение, которое определяется по формуле:

$$\beta_{пред} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{D_{\max}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\max}} + \frac{D_{\min}}{\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\min}} \right). \quad (5)$$

$D_{\max}$  и  $D_{\min}$  – дисперсии соответственно максимального потребления выходного дня и минимального потребления рабочего дня;

$\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\max}$  и  $\sum_{i,j=1}^{m,n} P_{m,n\min}$  – суммы средних значений мощности соответственно максимального потребления выходного дня и минимального потребления рабочего дня.

Для приведенной выборки исходных данных характерны диапазоны отличия. Формирование диапазонов считается завершенным, если определены граничные значения пределов (рис.3).

Следует отметить, что при определении предельного критерия кластеризации для данного объекта выборка исходных данных должна иметь представительный характер, то есть включать в себя данные для разных периодов потребления (например, зимний и летний период). Таким образом, рассчитанный предел будет определен оптимально и соответствовать условиям выбора. В случае изменения объемов потребления электроэнергии, полученная точность обеспечит его применимость для дальнейшего использования.

Для определения граничного значения коэффициента  $\beta_{пред}$  объем исходных данных зависит от количественного значения устанавливаемой величины ряда и величины отклонения относительно среднего значения. С учетом того, что объем выборки незначителен, для оценки степени корреляции рассматриваемых величин применяется формула:

$$r_{P,D} = \frac{N \sum P_{\alpha} D_i - \sum P_{\alpha} \sum D_i}{\sqrt{N \sum P_{\alpha}^2 - (\sum P_{\alpha})^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N \sum D_i^2 - (\sum D_i)^2}}. \quad (6)$$

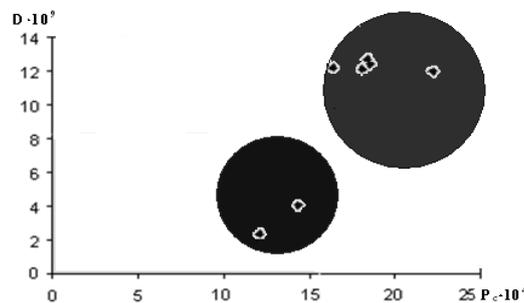


Рис. 3. Количественное отношение между дисперсией ( $D$ ) и суммарными значениями ГЭН ( $P_c$ )

В результате математических действий определяется наличие связи между величинами, полученное значение  $r_{P,D} = -0,12$  соответствует слабой корреляционной связи. Данный результат подтверждает необходимость применения дополнительного показателя, который бы отображал влияние двух рассматриваемых переменных. Проверим обоснованность использования адаптивного коэффициента степени отклонения относительно всей выборки значений.

Изучение аппаратов оценки математической статистики и теории классификации показало, что по результатам кластер – анализа объекты разбиваются на группы [7]. Для осуществления такого анализа необходимо оперировать следующими математическими характеристиками:

- центром кластера  $z_j$ ;
- радиусом  $\bar{D}_j$ .

На первом этапе вычисляется положение центров кластеров:

$$z_{Dj} = \sqrt[N_{Dj}]{\prod_{i=1}^{N_{Dj}} D_i} \text{ и } z_{Pj} = \sqrt[N_{Pj}]{\prod_{i=1}^{N_{Pj}} P_{ci}}, \quad (7)$$

где  $N_{Dj}$  и  $N_{Pj}$  – соответственно количество значений дисперсий и суммарных средних значений мощности.

В результате центр кластера составляет  $z(z_{P_j}; z_{D_j})$ .

На втором этапе вычисляется радиус кластера, который соответствует допустимому разбросу значений выборки данных относительно центра кластера таким образом, чтобы выполнялось условие кластерного соответствия рассматриваемого ряда. В математическом виде радиус кластера описывается выражением:

$$\bar{D}_j = \sqrt{(\max(D_i - z_{D_j}))^2 + (\max(P_{ci} - z_{P_j}))^2}. \quad (8)$$

Полученные расчетные значения переменных в выражениях (7) и (8) сведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Математические характеристики кластера

	$P_c$	$D \cdot 10^9$	$\bar{D}_p \cdot 10^9$
$z_p$	1,75	8,85	6,46
$z_e$	1,53	7,02	5,17

На основании данных выше приведенной таблицы оценивается соответствие значений проверочной выборки данных установленным классам. Для этого руководствуются критерием:

$$\bar{D}_j \geq \sqrt{(D_i - z_{D_j})^2 + (P_{ci} - z_{P_j})^2}. \quad (9)$$

Если условие выполняется, рассматриваемая выборка данных принадлежит данному классу. В противоположном случае проверяется ее соответствие соседнему классу. Результаты такого сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Результаты проверки кластеризации

$\bar{D}_p \cdot 10^9$	$\bar{D} \cdot 10^9$	Проверка
6,5	5,1	+
	5,95	+
	8,43	-
	6,18	+
	5,76	+
	5,82	+

Из них следует, что к первой группе относятся все значения выборки, кроме третьей. При сравнении дисперсий табл. 1 и табл. 2 было установлено классовое соответствие первой и второй группы. Можно сделать вывод, что предложенная модель обеспечивает выполнение условий кластеризации.

Осуществим еще одну проверку достоверности установленных границ, как это было представлено на рис.2. Графически результат такой проверки представлен на рис. 4. Определенные значения  $\beta$  формируют кластеры в виде областей, границы которых задаются диапазонами. При установлении классового соответствия выборок данных те, которые принадлежат одной группе, в действительности относятся к группе ГЭН подобных по форме.

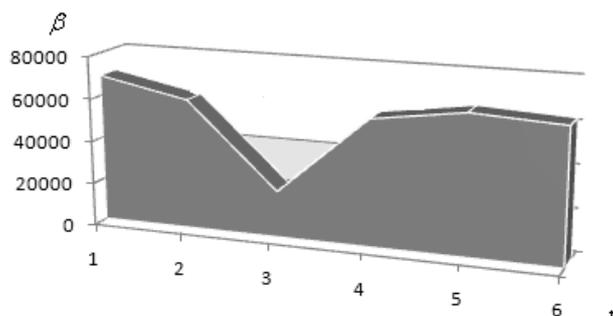


Рис. 4. Проверка кластеризации адаптивного коэффициента степени отклонения относительно всей выборки значений

При использовании информативного количества выборок определяется частота попадания ГЭН в заданный диапазон. При соблюдении сохранения поочередности ввода данных можно также установить повторяемость характера нагрузки (рис. 5).

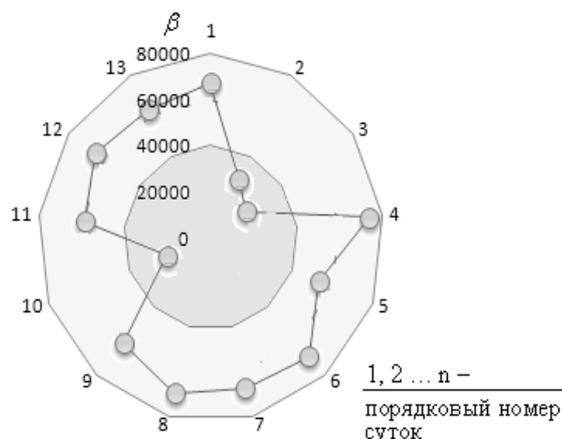


Рис. 5. Общее отображение величин адаптированных коэффициентов степени отклонения относительно всей выборки значений

Используя реальные ГЭН для разных сезонов можно убедиться, что предложенный метод кластеризации достоверен и применим без учета зимнего и летнего периода.

#### Выводы

Множество существующих способов вейвлет – преобразований позволяют эффективно обрабатывать сигналы с целью уменьшения объемов хранимых данных, их кодировки и решения других задач. В основном результатом таких преобразований становится нахождение решения только одной проблемы. Полученные вейвлет – коэффициенты, в случае дальнейшей обработки, требуют применения сложных математических аппаратов вычисления.

В статье предлагается изменить последний шаг обработки вейвлет-коэффициентов. Это приведет к формированию такой выборки значений, которая будет подчиняться существующим статистическим законам. Используя ряд известных зависимостей, предоставляется возможность для дальнейшего анализа расчетных данных, в данной статье – кластеризация. Для проведения оптимального анализа вычисленных значений и определения четких границ между группами предлагается использовать адаптивный коэффициент степени отклонения относительно всей выборки значений вместо коэффициента вариации. Преимущество использования представленного метода заключается в определении параметра, который обеспечит увеличение расстояния между кластерами, что приводит к снижению влияния величины потребления и к увеличению зависимости от формы ГЭН.

#### Литература

1. Астафьева Н. М. Вейвлет – анализ: основы теории и примеры применения/ Н. М. Астафьева. - Успехи физических наук. – 1996. - т. 166. - № 11. - С. 1145 – 1170. – Библиогр.: с. 1146.
2. Дремин И. М. Вейвлеты и их использование/ И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло - УФН. – 2001. – Т. 171. – №5. – С. 465 - 501. – Библиогр.: с. 468.
3. Праховник А.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий/ А.В. Праховник, В.П. Розен, В.В. Дегтярев. – М.: Недра, 1985.-232 с.-Библиогр.: с. 168.
4. Волошко А. В. Метод формирования признаков классификации графиков электрических нагрузок на основе вейвлет – преобразования/ А. В. Волошко. - Промелектро / Научн. журнал, двухмес. - 2009. - № 1. - С. 39 - 43. – Библиогр.: с. 42.
5. Дворников С. В. Метод распознавания на основе вейвлет – пакетов/ С. В. Дворников, А. М. Сауков. - Научное приборостроение, 2004. – т. 14, №1. – С. 57 – 65. – Библиогр.: с. 60.
6. Козлов П. В. Вейвлет – преобразование и анализ временных рядов/ П. В. Козлов, Б. Б. Чен. – Вестник КРСУ. – 2002. - № 2. - С. 48 - 56. – Библиогр.: с. 54.
7. Гнатюк В. И. Методика оптимального управления энергопотреблением/ В. И. Гнатюк. – Энергетика, 2008 г. - №4. – С. 128 – 136. – Библиогр.: с. 131, 132.