

it possible to extract clusters belonging to the same load states from all measurement data for further processing by filtration methods and regression analysis. Thus, the static characteristics of the load can be obtained from the data of a single passive experiment.

REFERENCES:

1. Gurevich, Yu.E. Application of mathematical models of electrical load in the calculation of power systems and reliability of power supply to industrial consumers / Yu.E. Gurevich, L.E. Libov. - Moscow: ELEKS-KM, 2008. - 248 p.
2. Svenchansky A.D., Smelyansky M.Ya. Electric industrial furnaces. Part 2. Arc furnaces Textbook for high schools. M.: Energia, 1970. - 264 p.
3. Mandel I.D. Cluster analysis. - Moscow: Finance and Statistics, 1988
4. Vorontsov K.V. Algorithms for clustering and multidimensional scaling. Lecture course. MSU, 2007
5. T. Kohonen. Self-organizing maps. - Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2008. - 655 p.

Research supervisor: A.V. Pankratov, PhD, Institute of Power Engineering, Department of Power Grids and Electrical Engineering.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ

М.А. Кондрашов¹, А.Ю. Смирнова²
Томский политехнический университет^{1,2}
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ6Д¹
ИПР, группа 2УМ71²

Актуализация фактических статических характеристик нагрузки по напряжению (СХН) крупных потребителей энергосистемы России является одной из приоритетных задач совершенствования средств и деятельности по расчету, анализу и планированию текущих и перспективных электроэнергетических режимов согласно Программе инновационного развития АО «Системный оператор Единой энергетической системы». Решается эта задача, как правило, организацией экспериментальных испытаний с изменением напряжения на шинах потребителя. Такие испытания принято называть «активным экспериментом». Другим способом идентификации СХН является накопление и обработка результатов измерений параметров режима без вмешательства в естественный процесс функционирования потребителя, или «пассивный эксперимент».

Как в случае активного, так и в случае пассивного эксперимента одной из задач обработки данных является кластеризация результатов. Это связано с тем, что параметры режима изменяются под воздействием двух причин: как вследствие изменения напряжения, так и вследствие изменения состояния самой

нагрузки [1]. Задачей кластеризации в этом случае будет являться разделение измеренных значений на кластеры, соответствующие одному и тому же состоянию нагрузки.

Обзор и сопоставление существующих методов кластерного анализа [2-4], таких как иерархическая кластеризация, метод Гауссовой смеси, метод K-means (K-средних), метод самоорганизующихся карт Кохонена и др. показал, что наиболее удовлетворительные результаты дает метод иерархической кластеризации. Рассмотрим его применение в задаче обработки данных телеизмерений, фиксировавших напряжение и потребляемую реактивную мощность одного из алюминиевых заводов. Измеренные значения напряжения U и реактивной мощности Q в зависимости от времени представлены на рисунке 1.

Для реализации поставленной задачи было написано прикладное программное обеспечение на языке программирования C# позволяющее производить кластерный анализ методом иерархической кластеризации и использовать результаты в регрессионном анализе для получения коэффициентов статической характеристики нагрузки. В качестве СХН в данном случае была принята линейная функция

$$Q(U) = Q_{bas} \cdot \left(a_0 + a_1 \cdot \frac{U}{U_{bas}} \right) \quad (1)$$

где a_0 и a_1 – коэффициенты СХН в относительных единицах; U_{bas} и Q_{bas} – базисные значения напряжения и реактивной мощности соответственно.

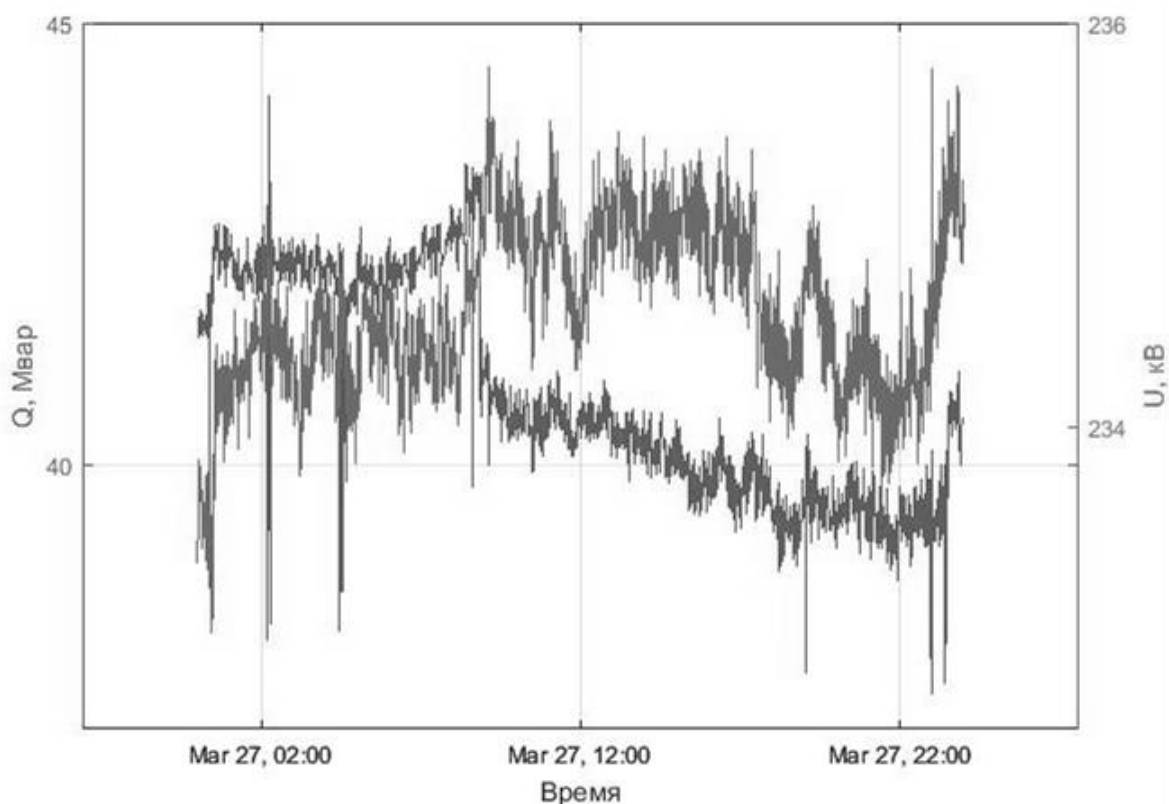


Рис. 1. Зависимости реактивной мощностей и напряжения от времени

Поставленную системную задачу можно разбить на несколько подзадач, которые решаются определенными модулями разработанного программного

обеспечения: построение временных зависимостей; дискретизация с заданной частотой; кластеризация и регрессионный анализ.

Результаты кластерного анализа представлены на рисунке 2. Как можно видеть на данном рисунке весь массив значений зависимости $Q(U)$ разбит на три кластера, соответствующие трем состояниям исследуемой нагрузки. Для каждого состояния нагрузки определена своя СХН, показанная в именованных единицах на рисунке 2 прямой линией. При этом в качестве базисного напряжения принято математическое ожидание всех измеренных значений напряжения $U_{bas} = 233,5$ кВ. Полученные базисные значения реактивной мощности и коэффициенты СХН для каждого из кластеров приведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты кластерного и регрессионного анализа

	Q_{bas} , Мвар	a_0 , о.е.	a_1 , о.е.
Кластер 1	39,4	-2,75	3,74
Кластер 2	43,7	-2,04	3,04
Кластер 3	41,8	-3,7	4,7

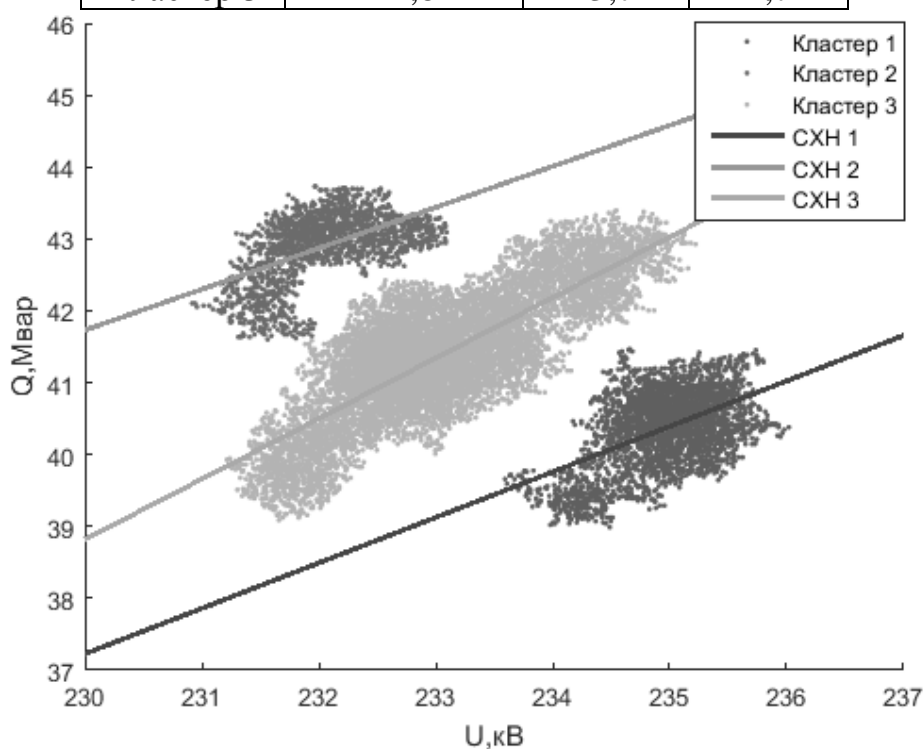


Рис. 2. Полученные кластеры и линейные СХН в именованных единицах

Физический смысл коэффициента a_1 – это регулирующий эффект нагрузки по напряжению. Как видим, для всех трех кластеров этот параметр лежит в пределах 3 – 4,7. Малый разброс значений позволяет сделать вывод о том, что полученные результаты имеют статистическую достоверность. То же можно наблюдать и при построении СХН в относительных единицах, рисунок 3.

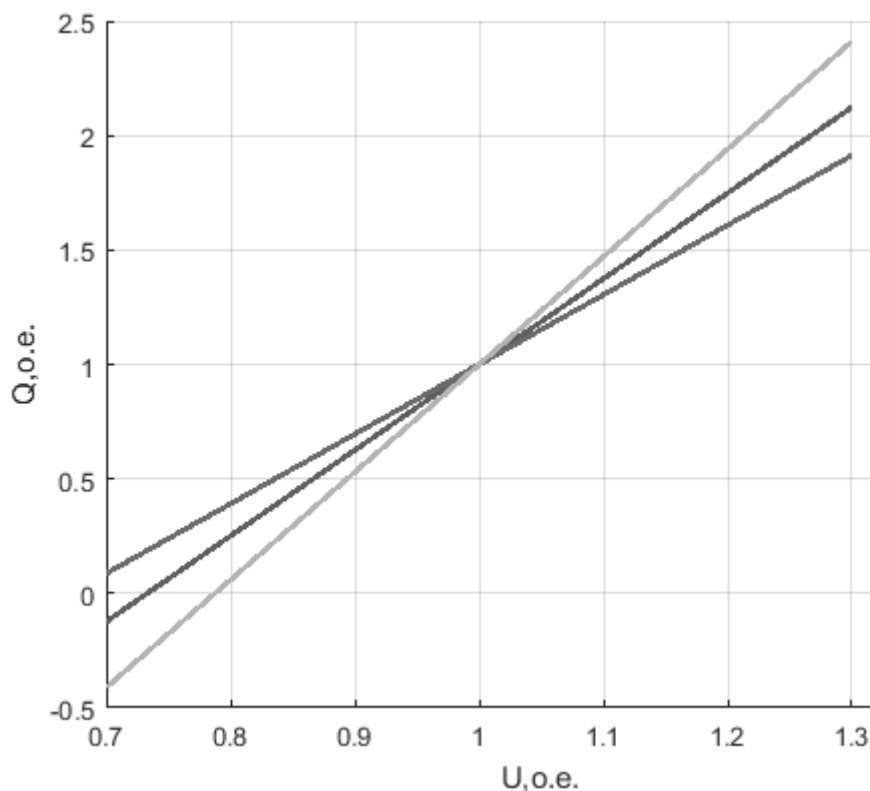


Рис. 3. Статические характеристики нагрузки в относительных единицах

В заключении можно сделать несколько выводов:

1. При получении статических характеристик нагрузки по напряжению кроме результатов активного эксперимента могут быть также использованы данные пассивных наблюдений;
2. При обработке данных пассивных наблюдений необходимо решить задачу кластеризации по состояниям нагрузки;
3. Для этой цели с успехом может быть использован метод иерархической кластеризации;
4. В ряде случаев данные пассивных наблюдений позволяют определить значение регулирующего эффекта нагрузки;
5. Сопоставление характеристик, полученных для разных кластеров, позволяет оценить достоверность полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тавлинцев А.С., Суворов А.А. Статистически равновесные состояния нагрузки в задаче идентификации статических характеристик нагрузки / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 2. С. 23-28.
2. Мандель И. Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и Статистика, 1988.
3. Воронцов К.В. Алгоритмы кластеризации и многомерного шкалирования. Курс лекций. МГУ, 2007.

4. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 655 с.

Научный руководитель: А.В. Панкратов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В РАМКАХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Ф.С. Непша, В.М. Ефременко

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

В процессе эксплуатации систем электроснабжения (СЭС) угольных шахт возникает необходимость в расчете и анализе электрических режимов. При этом расчет электрических режимов необходим для решения задачи оптимизации режима работы СЭС по различным критериям (минимум потерь (потребления) активной мощности, обеспечение нормативных показателей качества электроэнергии), а также определения критических уровней напряжения, при которых возможно нарушение устойчивости работы двигательной нагрузки.

Для выполнения расчета электрического режима необходимо создать модель СЭС угольной шахты, которая должна быть представлена в виде графа, состоящего из узлов и ветвей.

В состав модели СЭС угольной шахты входят следующие типы узлов:

1. *Нагрузочные узлы*, которые представляют характеристики электроприемников или групп электроприемников.
2. *Базисный узел*, в котором задаются параметры питающей сети и относительно которого выполняется расчет режимов. Как правило, устанавливается на границе раздела между угольной шахтой и энергоснабжающей организацией.
3. *Генераторные узлы*, представляют объекты генерации, которые могут входить в состав СЭС угольной шахты.

Также в состав модели входят различные типы ветвей:

4. *Трансформаторные ветви*, которые представляют характеристики трансформаторов главных понизительных подстанций (ГПП), передвижных участковых подземных подстанций (ПУПП).
5. *Ветви линий*, которые представляют характеристики линий, образующих СЭС угольной шахты.
6. *Ветви выключателей*, представляют выключатели, с помощью которых выполняется изменение топологии СЭС.

На основании созданной модели выполняется формирование уравнений установившегося режима (УУР). Существует большое количество численных методов, с помощью которых они могут быть обработаны для получения данных о модулях и фазах напряжения в узлах, однако точных методов для решения этих уравнений не существует. Методы решения нелинейных УУР подробно рассмотрены в работах [1-7].