

конференции с международным участием. Ярославль, 06 апреля 2023 г. / ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ». – Ярославль : Издательство ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ», 2023. – С. 76–82.

3. Report: Two-Thirds of World's Population Will Live in Cities by 2050 [Электронный ресурс] /<https://www.usnews.com/news/world/articles/2018-05-17/report-two-thirds-of-worlds-population-will-live-in-cities-by-2050>. Дата доступа: 01.04.2025.

4. Лукашенко утвердил важнейшие прогнозные параметры развития Беларуси на 2025 год [Электронный ресурс] https://news.mail.ru/politics/63035043/?frommail=1&utm_partner_id=547 Дата доступа: 02.04.2025.

5. Жудро, В.М. Smart научно-технические разработки развития промышленных предприятий / В.М. Жудро // Управление инновационной деятельностью промышленных предприятий : сборник тезисов докладов научно-практического семинара учёных, учащихся и специалистов предприятий (Республика Беларусь, Бобруйск, 27 января 2023 года) / редкол.: В.Г. Филатов [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2023. – С. 49–51.

6. Токенизация: международный опыт токенизации активов / Ассоциация Финтех, 2021 [Электронный ресурс] <https://www.fintechru.org/upload/iblock/f56/1948jcrv40ezb9mw66chgwpkj32xjj3.pdf?ysclid=m9a0k46b3i233858086>. – Дата доступа: 02.03.2025.

УДК 004:338.43

НЕЧЕТКАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Алетдинова А.А., д.э.н., доцент

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»,
г. Новосибирск, Российская Федерация*

Сапун О.Л., к.п.н., доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск*

Ключевые слова: нечеткие модели, нечеткая кластеризация, нечеткий метод, пример реализации, инструменты программной реализации
Key words: fuzzy models, fuzzy clustering, fuzzy method, implementation example, software implementation tools

Аннотация: Авторы рекомендуют для анализа экономических систем нечеткий кластерный анализ как наиболее реалистично подходящий к опи-

санию собранных данных на основе экспертных, интервальных оценок, условий неопределенности и выбросов. Показан результат программной реализации алгоритма Fuzzy c-means. Даны рекомендации по выбору программного обеспечения для реализации нечеткой кластеризации.

Summary: The authors recommend fuzzy cluster analysis for the analysis of economic systems as the most realistically described data based on expert, interval estimates, uncertainty conditions and outliers. The article shows the result of the software implementation of the Fuzzy c-means algorithm. There are recommendations on the choice of software for implementing fuzzy clustering.

Нечеткие модели или модели нечеткой логики представляют собой математические и вычислительные подходы, которые используют нечеткость, неопределенность и приближенные рассуждения для решения различных задач макро- и микроэкономики. Эти модели разработаны для работы с данными, которые точно количественно трудно выразить, и позволяют более гибко моделировать реальные ситуации, где информация может быть неопределенной, неточной или неполной [1].

Кластеризация – это метод группировки данных, при котором объекты с похожими характеристиками объединяются в группы (кластеры). В отличие от классификации, классы заранее не заданы.

Четкие методы, такие как алгоритм k-means, предполагают, что каждый объект принадлежит только одному кластеру. Это не всегда удобно, особенно если данные имеют пересечения, например, заказчик интересуется продукцией не только растениеводства, но и животноводства.

Нечеткие методы, такие как Fuzzy c-means (FCM) (пример мягкой кластеризации), позволяют каждому объекту иметь степень принадлежности к каждому кластеру. Например, сельскохозяйственные угодья могут на 60% принадлежать к кластеру «лесостепная зона» и на 40% к кластеру «степная зона».

Нечеткие методы широко применяются в таких задачах как:

- маркетинг: сегментация потребителей;
- ветеринария: выявление групп препаратов по регионам производителям и стоимости;
- биоинформатика: анализ ДНК;
- прогнозирование: выявление аномальных моделей поведения стейкхолдеров.

Нечеткие множества (fuzzy sets) расширяют понятие классического множества, где элемент либо принадлежит множеству (1), либо не принадлежит (0). В нечетких множествах у элемента есть степень принадлежности, которая принимает значения в диапазоне [0, 1]. Например, рассмотрим множество "потребность в программном обеспечении". Если в

четком множестве работники сельскохозяйственных предприятий занимаются удаленной работой, то принадлежит этому множеству (1), а если нет, то – (0). В нечетком множестве таким работникам на удаленной работе можно присвоить степень принадлежности 0,9, а остальным – 0,3.

Имеются следующие основные операции:

Объединение (max):

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Пересечение (min):

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Дополнение (1 - m):

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x).$$

Идея нечеткой кластеризации заключается в том, что каждому объекту x_i присваивается степень принадлежности u_{ij} к каждому кластеру j . Сумма степеней принадлежности объекта ко всем кластерам равна 1:

$$\sum_{j=1}^c u_{ij} = 1, \forall i$$

где c – число кластеров.

Например, известна частота обращения клиентов по закупкам сельскохозяйственной продукции и общий объем этих закупок (в руб.). С помощью нечеткой кластеризации этих клиентов можно разделить на активных и редких, проанализировать их поведение (рис. 1).

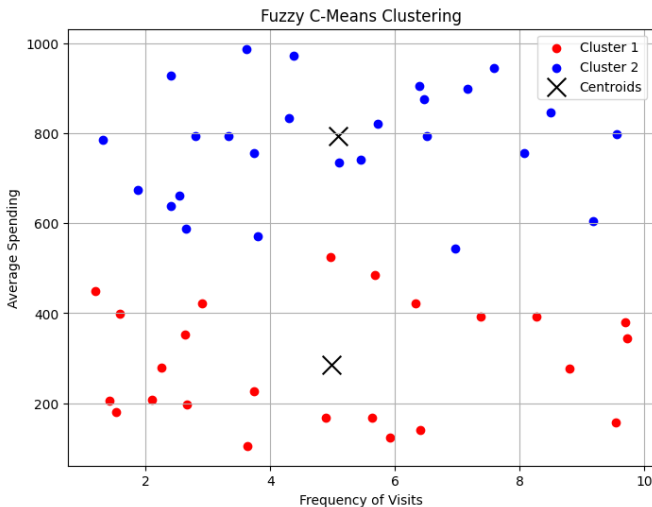


Рисунок 1. Реализация метода нечеткой кластеризации

По графику результатов работы алгоритма FCM клиенты были разделены на два кластера:

1. С низкой частотой обращения и меньшим объемом закупок. Это клиенты с меньшей вовлеченностью.

2. С высокой частотой обращения и более высоким объемом закупок. Это активные покупатели.

В алгоритме Fuzzy c-means точки могут иметь принадлежность к нескольким кластерам с разными степенями, что позволяет учесть клиентов, которые находятся «на границе» между активными и редкими покупателями. Клиент с частотой обращений около пяти раз и объемом закупок около 500 тыс. руб. можно отнести одновременно к обоим кластерам, но с разным весом.

Реализация мягкой кластеризации возможна на языках программирования Python, R и др., с помощью пакетов статистического анализа как Knime, Orange Data Mining (через реализацию скриптов на Python), WEKA, SPSS Statistics и др. Выбор инструмента для FCM определяют предпочтения пользователей и практически не зависят от поставленных задач анализа экономических систем. При слабом владении программированием можно обратить внимание на статистические пакеты с удобным интерфейсом, описательной документацией и готовыми примерами, облегчающими работу с алгоритмом.

Список использованной литературы

1. Ahmed, M., Seraj, R., Islam, S. M. S. The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation // Electronics. – 2020. – Т. 9. – №. 8. – P. 1295.

УДК 631.145:001.895

ЗАМКНУТЫЕ ЦЕПОЧКИ ПОСТАВОК АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Косова А.Л., к.э.н., доцент

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Ключевые слова: цепочки поставок, замкнутые цепочки поставок, аграрная продукция, логистика, управление.

Key words: supply chains, closed supply chains, agricultural products, logistics, management.