

УДК 330.35.01

DOI 10.26118/2782-4586.2025.96.17.025

Мамедова Афет Мамедгусейн кызы

Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства

Индикаторы устойчивого развития в Азербайджане

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы устойчивого развития, как стратегического направления развития общества в достижении постоянного улучшения жизнеобеспечения людей и переход на качественно новый уровень их жизни, при котором не разрушается экосистема и сохраняется природная основа. Оценка устойчивого развития (УР) с использованием кластерного анализа и математических моделей позволяет глубже понять, какие регионы или направления нуждаются в поддержке, а какие уже демонстрируют прогресс. Для полноценной оценки устойчивого развития (УР) наряду с кластерным анализом, необходимо использовать факторный анализ, дискриминантный анализ и анализ взаимосвязей между показателями. Совместное применение этих методов обеспечивает комплексную оценку устойчивого развития, учитывая структуру данных, классификацию объектов, выявление главных детерминант и анализ взаимосвязей, что соответствует научно-методическим подходам высокого уровня при разработке и мониторинге программ устойчивого развития на национальном и региональном уровнях. Азербайджан достиг значительного прогресса в реализации целей устойчивого развития (ЦУР), что подтверждается его высоким рейтингом в глобальных индексах и постоянным улучшением показателей. В рамках стратегий социально-экономического развития на 2022-2026 годы и «Азербайджан 2030» страна активно реализует меры, направленные на долгосрочную устойчивость и повышение качества жизни населения.

Ключевые слова: устойчивое развитие, индикаторы, кластерный анализ, многомерный статистический метод, математическая модель.

Mammadova Afet Mammadhusayn

Azerbaijan University of Architecture and Construction

Indicators of sustainable development in Azerbaijan

Abstract. The article considers the issues of sustainable development as a strategic direction of society development in achieving continuous improvement of people's livelihoods and transition to a qualitatively new level of their life, in which the ecosystem is not destroyed and the natural basis is preserved. Assessment of sustainable development (SD) using cluster analysis and mathematical models allows for a deeper understanding of which regions or areas need support and which are already showing progress. For a full assessment of sustainable development (SD), along with cluster analysis, it is necessary to use factor analysis, discriminant analysis and analysis of relationships between indicators. The combined use of these methods provides a comprehensive assessment of sustainable development, taking into account the data structure, classification of objects, identification of the main determinants and analysis of relationships, which corresponds to high-level scientific and methodological approaches in the development and monitoring of sustainable development programs at the national and regional levels. Azerbaijan has made significant progress in implementing the sustainable development goals (SDGs), as evidenced by its high rating in global indices and constant improvement of indicators. Within the framework of the socio-economic development strategies for 2022-2026 and "Azerbaijan 2030", the country is actively implementing measures aimed at long-term sustainability and improving the quality of life of the population.

Keywords: sustainable development, indicators, cluster analysis, multivariate statistical method, mathematical model.

Введение. Азербайджан, будучи одной из 10 стран в мире и единственной страной в регионе по выполнению целей устойчивого развития (ЦУР), четыре раза представлял Добровольный национальный отчет на политическом форуме высокого уровня ООН. За прошедший период более 30 государственных программ, стратегий и планов мероприятий, охватывающих социальную, экономическую, экологическую сферы в стране, были интегрированы в цели и задачи ЦУР.

План мероприятий «Стратегии социально-экономического развития на 2022-2026 годы», утвержденный в соответствии с «Азербайджан 2030: национальные приоритеты по социально-экономическому развитию», был приведен в соответствие с целями и задачами ЦУР. [1]

Азербайджан в 2015 году присоединился к Целям устойчивого развития ООН (ЦУР) и на национальном уровне в этом направлении были определены приоритеты - 17 взаимосвязанных целей, 88 задач и 119 индикаторов. [2],[3]

Конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию в 1992 году признала важную роль индикаторов могут играть в принятии странами обоснованных решений, касающихся устойчивого развития. На международном уровне Комиссия по устойчивому развитию (КУР) одобрила Программу работы по индикаторам устойчивого развития в 1995 году. Первые два набора индикаторов устойчивого развития (далее именуемые индикаторами КУР) были разработаны в период с 1994 по 2001 год. Они были широко протестированы, применены и использованы во многих странах в качестве основы для разработки национальных индикаторов устойчивого развития. [4]

Индикаторы устойчивого развития (ИУР) являются ключевыми индикаторами, используемыми для измерения долгосрочного развития стран в экономической, социальной и экологической сферах.

Индикаторы предназначены для поддержки решений. Они делают это посредством упрощения и количественной оценки, выполняя множество функций. Подробное обсуждение индикаторов устойчивого развития может привести к лучшему принятию решений и более эффективным действиям за счет упрощения, уточнения и предоставления общей информации лицам, формирующими политику.

Показатели устойчивого развития в Азербайджане

- **Основные показатели:** Охватывает такие области, как уровень бедности, образование, здравоохранение, экономический рост, охрана окружающей среды, гендерное равенство и т. д. [3]

- **Национальные приоритеты:** В Азербайджане создан Национальный координационный совет для обеспечения реализации ЦУР и представлено два Добровольных национальных отчета. [2],[3]

Индикаторы	Описание
Уровень бедности	Снизился с 49% до 5%. [2]
Индекс развития человеческого потенциала	Увеличился на 30%. [2]
Образование и здравоохранение	Основные компоненты ИЧР [5]
Экологические показатели	Вода, отходы, энергоэффективность [6]

Методология кластерного анализа

Кластерный анализ — статистический метод выявления групп регионов или стран со схожими характеристиками по различным показателям. Этот метод:

- Выбор индикаторов: выбираются основные социальные, экономические и экологические индикаторы.

- Стандартизация данных: данные в разных единицах измерения приводятся в сопоставимый формат.

- Формирование кластеров: группы со схожими индикаторами создаются с использованием иерархических или неиерархических (К-средних и т. д.) методов.
- Интерпретация результатов: анализируются различия и сходства между кластерами. [6]

Оценка с помощью математических моделей

Для оценки индикаторов устойчивого развития с помощью математических моделей используются следующие подходы:

- Расчеты индексов: такие индексы, как индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП), индекс экологической эффективности (ИЭЭ) и индекс реального прогресса (ИРП), рассчитываются с использованием математических формул. Еще одним методологическим отличием, предложенным в 2010 году, является обновление метода суммирования трех перечисленных индексов в индексе развития человеческого потенциала. Расчет ИЧР, используемый с 1990 года, основывался на среднем математическом значении индексов параметров. Например, ИЧР [5]

$$\text{ИРЧП} = (\text{Индекс Население (долголетие)} + \text{Индекс Образование} + \text{Индекс ВВП}) / 3$$

Многомерный статистический анализ: взаимосвязи между показателями изучаются с использованием факторного анализа, дискриминантного анализа и т. д.

- симуляционные и оптимизационные модели: такие модели, как ENVISAGE (общее равновесие с применением воздействия на окружающую среду и устойчивости), GTAP (база данных проекта анализа глобальной торговли для количественной отчетности о зеленых инвестициях) используются для оценки экономических и экологических последствий. [7]

Пример применения для Азербайджана.

- При проведении кластерного анализа показателей устойчивого развития для Азербайджана социальные, экономические и экологические показатели собираются, стандартизируются и делятся на кластеры по регионам.
- Уровень устойчивого развития страны и регионов оценивается с помощью математических моделей, в частности, с помощью индексов и имитационных моделей. [6], [7]

Рекомендации и выводы

- Укрепление базы данных: важно собирать качественные, непрерывные и соответствующие международным стандартам статистические данные. [3] [6]
- Подготовка национальных стратегий: Результаты, полученные в результате кластерного анализа и математических моделей, могут быть использованы в качестве основы для формулирования национальных стратегий развития.
- Применение международного опыта: Используя глобальные индексы и модели, можно объективно оценить текущее положение и потенциал развития Азербайджана. [6], [7]

Основные статистические методы, которые могут быть использованы в кластерном анализе показателей устойчивого развития, следующие:

Метод	Краткое описание
Иерархический кластерный анализ	Расстояние между точками данных измеряется, и группы постепенно объединяются; результаты визуализируются с помощью дендрограммы.
Кластерный анализ К-средних	Это неиерархический метод, данные делятся на группы на основе заранее определенного количества кластеров
Двухшаговый кластерный анализ	Используется в больших данных; сначала исходные группы создаются с помощью

	иерархического метода, а затем уточняются с помощью неиерархического метода
Метод K-medoids (PAM)	похож на метод K-means, но реальные наблюдения выбираются в качестве центров кластеров и более устойчив к шуму.
DBSCAN (кластеризация на основе плотности)	находит плотные области данных, подходит для несферических кластеров и отделяет шум
Метод Уорда	объединяет кластеры, используя принцип минимального увеличения дисперсии в иерархическом кластерном анализе. помогает определить оптимальное количество кластеров.

Эти методы широко используются для классификации показателей устойчивого развития по аналогичным группам на основе различных социальных, экономических и экологических показателей. Например, метод k-средних и двухэтапный кластерный анализ эффективны при кластеризации больших данных по странам и регионам, а метод Уорда полезен для определения оптимального количества кластеров. [8] [9]

Для корректного кластерного анализа важно сначала стандартизировать данные и выбрать подходящую меру расстояния (например, евклидово расстояние). Кроме того, такие программные обеспечения, как SPSS, R и Python, предоставляют широкие возможности для применения этих методов. [8], [10]

Таким образом, в кластерном анализе показателей устойчивого развития в качестве основных статистических подходов используются иерархические и неиерархические методы, двухэтапный кластерный анализ, метод Уорда и методы, основанные на плотности, такие как DBSCAN. Эти методы дают эффективные результаты при многомерном анализе показателей и группировке регионов со схожим уровнем развития.

Важнейшая информация о методе Уорда.

Метод Уорда — это статистический метод, используемый в иерархическом кластерном анализе. Его самым большим преимуществом является то, что он работает на минимизацию разницы (дисперсии) внутри кластеров. В текущем слиянии кластеры выбираются таким образом, чтобы в результате их слияния сумма полных квадратов отклонений внутри кластеров увеличивалась наименьшим образом.

Основные особенности:

Цель: минимизировать дисперсию внутри кластеров.

Начальная точка: каждый объект является отдельным кластером.

Правило слияния: на каждом шаге объединяются два кластера, которые вызовут наименьшее увеличение общей внутрикластерной дисперсии.

Мера расстояния: в основном используется квадрат евклидова расстояния [11], [12]

Конечный результат - получены компактные (похожие друг на друга) и однородные кластеры.

Принцип работы пошагово:

1. Каждый объект считается отдельным кластером.
2. При расчете межкластерного расстояния применяется критерий дисперсии.
3. На каждом этапе кластеры для слияния выбираются таким образом, чтобы в результате сумма общих внутрикластерных отклонений увеличивалась минимально.
4. Процесс продолжается до тех пор, пока не останется только один кластер. [13]

Преимущества и недостатки

Преимущества	Ограничения и недостатки
--------------	--------------------------

Дает высокооднородные кластеры	Расчеты могут быть сложными для больших данных
Кластеры понятны и интерпретируемые	Требуются компьютерные расчеты

Краткое изложение и основные моменты:

Метод Уорда является агломеративным (агрегационным) методом кластеризации.

Его главная цель — уменьшить изменчивость внутри кластеров.

Он широко используется в биологии, социологии, маркетинге и других научных областях [14], [15]

Результаты кластерного анализа с использованием метода Уорда часто применяются для различия групп в соответствии с генетическим разнообразием, производительностью и другими объектами исследования.

Многомерные статистические методы, используемые в кластерном анализе показателей устойчивого развития, в основном следующие:

Метод	Описание и совместимость
Иерархический кластерный анализ	Кластеры формируются последовательно на основе расстояния и сходства между наблюдениями. Существуют различные комбинированные методы, такие как метод Уорда, полное сцепление, среднее сцепление. Dendrogram используется для визуализации иерархической структуры.
K-means кластерный анализ	Это наиболее часто используемый неиерархический метод. Задавая заранее количество кластеров, данные делятся на группы на основе сходства. Расстояние рассчитывается с использованием таких метрик, как евклидово расстояние.
K-medoids (PAM)	K-medoids (PAM) похож на K-means, но центры кластеров выбираются из реальных наблюдений, что делает его более устойчивым к шуму.
DBSCAN (Density-based clustering)	Выявляет области плотности, количество кластеров заранее неизвестно. Подходит для несферических кластеров и отделяет шум.
Факторный анализ	Используется для выявления связей и скрытых факторов между индикаторами, полезен для сокращения переменных перед кластерным анализом
Канонический корреляционный анализ	Используется для оценки несходства существующих кластеров и назначения новых наблюдений кластерам
Дискриминантный анализ	Применяется для изучения взаимодействий между двумя или более группами переменных, что позволяет анализировать сложные связи между индикаторами.

Рекомендации:

- Стандартизация данных (например, преобразование Z-счёта) необходима для кластерного анализа для получения точных результатов.
- Выбор мер расстояния (евклидово, Минковского, Махаланобиса и т. д.) влияет на результаты анализа и должен выбираться в соответствии с природой показателей.
 - Для определения количества кластеров используются методы силуэта, локтя или дендрограммы.
 - Использование факторного анализа в качестве метода многомерного анализа перед факторным анализом позволяет сократить количество показателей и получить более чёткие кластеры.

Таким образом, иерархический и неиерархический кластерный анализ, факторный и дискриминантный анализы, а также метод плотности DBSCAN являются более подходящими и широко применяемыми в качестве многомерных статистических методов в кластерном анализе показателей устойчивого развития. [16] [17] [18]

Преимущества многомерных статистических методов кластерного анализа заключаются в следующем:

- Выявление структуры данных: многомерные методы выявляют латентные (скрытые) структуры и связи в данных, тем самым облегчая идентификацию групп со схожими характеристиками. [17]

- Упрощение сложных данных: кластерный анализ создает более простую и понятную структуру данных путем группировки множества показателей и переменных, что облегчает анализ и визуализацию. [19]

- Объективная и точная кластеризация: поскольку она основана на статистических мерах расстояния и сходства, она обеспечивает научно обоснованную кластеризацию, свободную от субъективности.

- Эффективность в многомерных данных: сокращение числа переменных с помощью таких методов, как факторный анализ, снижает вычислительную нагрузку и сложность кластерного анализа, а также улучшает качество результатов. [20] [21]

- Обнаружение шума и аномалий: например, такие методы, как K-medoids и DBSCAN, устойчивы к шуму и выбросам, тем самым формируя более надежные кластеры. [20]

- Возможность работы с различными типами данных: Многомерные методы позволяют одновременно анализировать как количественные, так и качественные показатели. [17]

- Широкие области применения: Используется при анализе показателей устойчивого развития в социальных, экономических, экологических и других областях, позволяет проводить комплексную оценку, охватывающую различные аспекты. [16] [19]

Таким образом, многомерные статистические методы обладают значительными преимуществами в кластерном анализе с точки зрения глубокого изучения структуры данных, точного выявления схожих групп, упрощения сложных многомерных данных и повышения эффективности процесса анализа.

Основные недостатки многомерных статистических методов кластерного анализа заключаются в следующем:

- Субъективный выбор количества кластеров: количество и состав кластеров зависят от выбранного в ходе анализа критерия разделения, что может снизить объективность результатов [19].

- Необходимость стандартизации данных: если показатели с разными единицами измерения не стандартизированы, некоторые переменные могут оказывать большее влияние на анализ и приводить к искажению результатов.

- Вычислительная сложность и проблемы производительности в больших данных: В частности, иерархические методы могут быть вычислительно сложными в больших наборах данных и могут ухудшить производительность.

- Чувствительность к шуму и выбросам: Некоторые методы, такие как К-средние, чувствительны к выбросам, которые могут помешать правильному формированию кластеров. [22]

- Ненормальное распределение данных: Некоторые многомерные статистические методы, такие как факторный анализ, требуют предположения о нормальном распределении; нарушение этого предположения может снизить надежность результатов.

– Сложность интерпретации: Результаты многомерных методов иногда сложны, и их интерпретация может быть затруднена, особенно при анализе скрытых факторов.

– Неоднородность единиц измерения и переменных: Одновременный анализ различных типов показателей (количественных, качественных) может усложнить применение методов и повлиять на точность результатов.

– Неизвестная структура кластера: Некоторые методы требуют априорного знания количества кластеров, что затрудняет определение правильного количества кластеров в реальных данных.

Учитывая эти недостатки, при выборе и применении метода кластерного анализа следует тщательно оценить характеристики данных, целей и ресурсов. Кроме того, такие шаги, как стандартизация, удаление выбросов и оптимизация количества кластеров, повышают качество результатов. [22]

Многомерный статистический анализ – это набор статистических методов, в которых одновременно анализируются несколько переменных. Эти методы позволяют выявлять взаимосвязи и структуры между показателями.

Основные методы многомерного анализа:

Факторный анализ.

Цель: выявление небольшого числа скрытых факторов, лежащих в основе множества наблюдаемых переменных.

Области применения: психология, социальные науки, маркетинговые исследования.

Основные этапы:

- Построение корреляционной матрицы.
- Извлечение и интерпретация факторов.
- Анализ факторных нагрузок.

Канонический корреляционный анализ

Цель: Определить наиболее сильную связь между двумя наборами переменных (например, X и Y).

Области применения: Биология, экономика, педагогические науки.

Основные этапы:

- Построение канонических переменных двух наборов переменных.
- Расчет и интерпретация канонических коэффициентов корреляции.

Дискриминантный анализ

Цель: Изучить различия между переменными для правильной классификации наблюдений по предопределенным группам.

Области применения: Медицина, банковское дело, маркетинг (например, сегментация клиентов).

Основные этапы:

- Построение дискриминантной функции.
- Анализ дифференцирующих переменных между группами.
- Классификация новых наблюдений.

Изучение связей между показателями в многомерном анализе.

С помощью этих методов:

- Более глубоко анализируются связи и структуры между переменными.
- Создаются новые конструкции, такие как латентные факторы или канонические переменные.
- Исследуются различия и возможности классификации между группами.

Эти подходы широко используются для выявления ключевых взаимосвязей и закономерностей в сложных наборах данных и незаменимы в научных исследованиях, бизнес-анализе и социальных областях.

Ниже приведена таблица, отражающая основные особенности и области использования методов многомерного статистического анализа:

Тип анализа	Назначение	Основные этапы	Области использования
Факторный анализ	Поиск скрытых факторов за наблюдаемыми переменными	Построение корреляционной матрицы, извлечение факторов, анализ факторной нагрузки	Психология, социальные науки, маркетинг
Канонический корреляционный анализ	Определение наиболее сильной связи между двумя группами переменных	Построение канонических переменных, расчет и интерпретация канонических коэффициентов корреляции	Биология, экономика, педагогические науки
Дискриминантный анализ	Классификация наблюдений по предопределенным группам	Построение дискриминантной функции, анализ различий между группами, классификация	Медицина, банковское дело, маркетинг

Оценка с помощью математических моделей

Понятие оценки относится к описанию и анализу различных процессов и явлений с помощью математических методов. В этом контексте основными моментами являются:

- Построение математической модели — это выражение взаимных связей между физическими величинами и факторами, влияющими на процессы и события, с помощью математического аппарата. Модель обычно содержит такие компоненты, как входные переменные (X), выходные переменные (Y), внешние воздействия (Z) и время (t):

$$Y=f(X, Z, t)$$

Типы моделей — математические модели в основном делятся на две группы: аналитические модели (основанные на точных математических уравнениях) и симуляционные модели (использующие методы моделирования и имитации).

Цели оценки — математические модели позволяют анализировать и прогнозировать объекты и процессы, а также принимать управлочные решения. Это особенно актуально в экономике, технике, Применяется в биологии и других областях.

Основные этапы процесса оценки:

- Отбор значимых факторов и включение их в модель.
- Формулировка математических задач и уравнений.
- Проверка совместимости модели с реальной системой.
- Интерпретация результатов и принятие решений.

Области применения — математическое моделирование широко используется в естественных и гуманитарных науках, а также играет важную роль в оценке математических навыков и способностей решения задач в международных системах оценки и образования.

Обоснование и логический подход — оценка с помощью математических моделей требует логического, системного мышления и рассуждений, что важно для решения задач и принятия решений.

Заключение:

Таким образом, оценка с помощью математических моделей — это метод описания сложных объектов и процессов с помощью математических методов, их анализа и оценки результатов, который широко применяется в сферах научных исследований, образования и управления.

Расчеты индекса при оценке с помощью математических моделей являются одним из основных инструментов для надежной и сравнительной оценки как в социально-экономической (например, ИЧР), так и в экологической областях (мониторинг окружающей среды и анализ экосистем).

Основные показатели индекса развития человеческого потенциала (ИЧР) охватывают три основные области:

Долгая и здоровая жизнь — измеряется на основе средней продолжительности жизни, указывающей на способность людей прожить здоровую и долгую жизнь.

Уровень образования — выражается как уровень грамотности среди взрослых и доля тех, кто обучается в начальных, средних и высших учебных заведениях.

Достойный уровень жизни — отражает материальное благосостояние людей через доход на душу населения (рассчитывается с использованием паритета покупательной способности).

Эти три показателя комплексно отражают социальные и экономические аспекты человеческого развития и представлены в виде индекса, оцениваемого по шкале от 0 до 1.

Список источников

1. <https://caspianhouse.org/page/azerbaydzhany-v-indekse-tseley-globalnogo-ustoychivogo-razvitiya>
2. <https://baku.ws/ru/politika/dzhejhun-bajramov-vystupil-na-79-j-sessii-generalnoj-assamblei-oon>
3. <https://azerbaijan.un.org/az/sdgs>
4. <https://bpchalihacollege.org.in/online/attendance/classnotes/files/1630243621.pdf>
5. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/az/2.pdf>
6. <https://au.edu.az/userfiles/uploads/88fcb31bcfe6ad66a78bc006dd32a19f.pdf>
7. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/be91f914-2d3f-57ed-9672-f71342a8532d/content>
8. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2104884>.
9. <https://tkta.edu.az/files/Akkreditasiya%20hesabatlari%20202024/GDU%20-%20%C4%B0nstitusional%20Akkrd.%20Yekun%20Hesabat%20-%20%202028.11.2024.pdf>
10. https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Ward
11. <https://stats.stackexchange.com/questions/572409/intuitive-explanation-of-wards-method>
12. https://pl.wikipedia.org/wiki/Metoda_Warda
13. https://jlsbjournal.org/uploads/public_files/2023-07/63-68.pdf
14. https://aak.gov.az/upload/dissertasion/bio/bio_n_ssb_21_11_14.pdf
15. <https://data.edu.az/en/data-bloq/k-means-klaster/>
16. https://unec.edu.az/application/uploads/2015/06/statistika3502_az09.pdf
17. <https://articles.moluch.ru/archive/113/29766>
18. <https://www.solix.com/az/kb/clustering/>
19. Https://jpit.az/uploads/article/az/2021_2/Comparative_analysis_of_k-means,_k-means++_and_mini_batch_k-means_algorithms_in_python_environment.pdf
20. <https://www.sciencegate.app/document/10.25045/jpit.v12.i2.11>
21. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2758867>

Сведения об авторе

Мамедова Афет Мамедгусейн кызы, к.э.н., доцент, Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства, Баку, Азербайджан

Information about the author

Mammadova Afet Mammadhuseyn, PhD in Economics, Associate Professor, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan.