

Фу Юнгуан, аспирант 3 курса,
Институт управления, экономики и финансов,
Казанский (Приволжский) федеральный университет
Fu Yongguang, 3rd-year PhD student,
Institute of Management, Economics and Finance,
Kazan (Volga Region) Federal University

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИНДЕКСА УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ КЛАСТЕРЕ
DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A COMPREHENSIVE INDEX FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES IN AN INDUSTRIAL CLUSTER**

Аннотация. В статье представлена методика количественной оценки устойчивого развития промышленных кластеров на примере кластера белой бытовой техники в Циндао. Разработан комплексный индекс, включающий четыре группы показателей: экономическую результативность, инновационный потенциал, социальные эффекты и цифровую трансформацию. Применение метода энтропийного взвешивания позволило объективно определить весовые коэффициенты каждого показателя.

Abstract. The article presents a methodology for the quantitative assessment of sustainable development in industrial clusters, using the white goods cluster in Qingdao as a case study. A comprehensive index has been developed comprising four groups of indicators: economic performance, innovation potential, social effects, and digital transformation. The application of the entropy weighting method made it possible to objectively determine the weight coefficients for each indicator.

Ключевые слова: Промышленный кластер, устойчивое развитие, метод энтропийного взвешивания, индекс, инновации.

Keywords: Industrial cluster, sustainable development, entropy weighting method, index, innovation.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Китайского совета по стипендиям (China Scholarship Council), проект № 202310280101.

Введение

Промышленные кластеры являются важным фактором регионального экономического роста. Их устойчивое развитие в долгосрочной перспективе привлекает внимание исследователей и представителей органов власти. Традиционные подходы к оценке кластеров фокусируются на концентрации производства и экономическом выпуске. При этом комплексный анализ способности кластера сохранять темпы роста с учетом технологических и социальных изменений остается недостаточно проработанным. В работах отечественных ученых, например у Л.А. Гамидуллаевой, промышленный кластер рассматривается как локализованная экосистема, развитие которой зависит не только от текущих финансовых результатов, но и от совместной эволюции инновационных и адаптационных механизмов [3].

Цель данного исследования заключается в разработке комплексного индекса для оценки устойчивого развития предприятий в составе промышленного кластера. Объектом исследования выбран кластер белой бытовой техники в городе Циндао. Это крупнейшая производственная база в Северном Китае, объединяющая такие компании, как Haier, Hisense и Aucta. Для построения индекса применяется метод энтропийного взвешивания. Этот метод позволяет избежать субъективных ошибок при назначении весов, так как расчет основывается на степени вариации исходных данных. В работе проверяется гипотеза о том, что основными



драйверами роста устойчивости в современных условиях выступают инновационная активность и цифровая трансформация, а не только традиционные объемные показатели производства.

Материалы и методы

Теоретической основой исследования послужила концепция тройного итога, предложенная Элкингтоном [1], которая делит устойчивое развитие на экономическую, социальную и экологическую составляющие. В настоящей работе система показателей адаптирована к уровню промышленного кластера и включает четыре группы показателей. Метод энтропийного взвешивания базируется на работах К. Шеннона [2]. Суть метода состоит в следующем: чем больше разброс значений показателя за период, тем больше информации он несет о состоянии системы, и тем выше его вес в итоговом индексе. Такой подход объективен, так как не требует экспертных оценок. Эффективность метода для оценки региональных экономических систем подтверждена в работах С.А. Синтяева и О.С. Тарасовой [4; 5].

Процедура расчета индекса включает несколько последовательных шагов. На первом этапе проводится стандартизация исходных показателей. Это необходимо для того, чтобы устранить влияние единиц измерения, так как показатели имеют разную размерность: миллиарды юаней, проценты, количество патентов и так далее. Стандартизация выполняется по формуле линейного масштабирования, которая приводит все значения к диапазону от 0 до 1. На втором этапе для каждого показателя рассчитывается удельный вес каждого года в общем итоге. На третьем этапе вычисляется энтропия – мера неопределенности информации. Далее рассчитывается коэффициент дифференциации, отражающий степень отклонения показателя от среднего уровня. На заключительном этапе весовые коэффициенты суммируются для получения итогового значения комплексного индекса за каждый год.

Информационной базой исследования послужили статистические ежегодники города Циндао за 2011–2025 годы, а также отраслевые сборники Китайской ассоциации производителей бытовой техники [6; 7]. Временной интервал охватывает 15 лет, с 2010 по 2024 год. Данные по показателям численности занятых, объемам производства и финансовым результатам взяты из статистических бюллетеней города. Данные по патентной активности и расходам на НИОКР – из отчетов Управления промышленности и информатизации города Циндао.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования была сформирована система показателей. В нее вошли 12 переменных, объединенных в четыре блока. Первый блок отражает экономическую результативность. Сюда включены совокупный объем производства кластера, выручка и общая сумма прибыли и налогов. Второй блок оценивает инновационный потенциал через интенсивность затрат на НИОКР, количество выданных патентов на изобретения и численность исследовательского персонала. Третий блок связан с занятостью и социальными эффектами, включая доходы населения и налоговые поступления. Четвертый блок фиксирует уровень цифровой трансформации, в частности долю продукции умной бытовой техники и уровень программного управления ключевыми операциями. Все показатели имеют положительную направленность: их рост означает улучшение ситуации.



Таблица 1

Система показателей комплексного индекса устойчивого развития предприятий (Sust)

Измерение	Показатель	Переменная	Единица измерения	Направленность
Экономическая результативность	Совокупный объем производства кластера	X_1	млрд юаней	Положительная
	Выручка предприятий промышленности с основным видом деятельности	X_2	млрд юаней	Положительная
	Общая сумма прибыли и налогов предприятий промышленности с основным видом деятельности	X_3	млрд юаней	Положительная
Инновационный потенциал	Интенсивность затрат на НИОКР	X_4	%	Положительная
	Количество выданных патентов на изобретения	X_5	шт.	Положительная
	Численность исследовательского персонала на предприятиях промышленности с основным видом деятельности	X_6	тыс. чел.	Положительная
Занятость и социальные эффекты	Численность занятых	X_7	тыс. чел.	Положительная
	Располагаемый доход на душу населения	X_8	юань	Положительная
	Налоговые поступления	X_9	млрд юаней	Положительная
Цифровая трансформация	Общий объем услуг телекоммуникаций	X_{10}	млрд юаней	Положительная
	Доля продукции умной бытовой техники в общем объеме производства	X_{11}	%	Положительная
	Уровень числового программного управления ключевыми технологическими операциями	X_{12}	%	Положительная

Источник: составлено автором.

Далее с применением метода энтропийного взвешивания были рассчитаны веса для каждого из двенадцати показателей. Полученное распределение весов представлено в таблице 2. Самый высокий вес получил показатель интенсивности затрат на НИОКР – 11,2%. Вторым по значимости оказался показатель доли умной техники – 10,4%. Вес количества патентов составил 10,1%, что также является высоким результатом. Показатели, связанные с численностью занятых и доходами населения, получили наименьшие веса: 7,4% и 7,8% соответственно. Это говорит о том, что в условиях рассматриваемого кластера именно технологические и цифровые факторы вносят наибольший вклад в дифференциацию уровня устойчивости по годам.



Таблица 2

Результаты расчёта методом энтропийного взвешивания

Переменная	Вес	Ранг	Переменная	Вес	Ранг
X_1	0,087	6	X_7	0,074	11
X_2	0,081	8	X_8	0,078	10
X_3	0,090	5	X_9	0,083	9
X_4	0,112	1	X_{10}	0,096	4
X_5	0,101	3	X_{11}	0,104	2
X_6	0,086	7	X_{12}	0,085	7

Источник: рассчитано автором.

С точки зрения весов отдельных показателей, интенсивность затрат на НИОКР (X_4) имеет наибольший вес, достигающий 11,2%, и занимает первое место. Доля продукции умной бытовой техники в общем объёме производства (X_{11}) имеет вес 10,4% и занимает второе место. Количество выданных патентов на изобретения (X_5) имеет вес 10,1% и занимает третье место. Наименьшие веса имеют следующие три показателя: численность занятых (X_7 , 7,4%), располагаемый доход на душу населения (X_8 , 7,8%) и выручка предприятий промышленности с основным видом деятельности (X_2 , 8,1%).

На уровне групп показателей распределение весов также подтверждает смещение акцентов в сторону инноваций и цифровизации. Вес блока инновационного потенциала составил почти 30%. Блок цифровой трансформации набрал 28,5%. Суммарно эти два блока получили 58,4%, тогда как традиционная экономическая результативность получила только 25,8%, а социальные эффекты – 23,5%. Такое соотношение свидетельствует о том, что для современного промышленного кластера устойчивость определяется в первую очередь способностью генерировать новые технологии и внедрять цифровые решения, а не только наращивать объёмы производства.

На основе рассчитанных весов был вычислен итоговый комплексный индекс устойчивого развития для кластера Циндао за 2010–2024 годы. Результаты сведены в таблицу 3. Индекс вырос с 0,124 в базовом 2010 году до 0,892 в 2024 году. Среднегодовой темп роста составил примерно 16,7%. Рост индекса не был линейным. В период с 2010 по 2014 год среднегодовой прирост составил 0,039 пункта. С 2015 по 2019 год этот показатель увеличился до 0,071. В 2020–2024 годах ежегодный прирост составил уже 0,076. Ускорение динамики объясняется накопленным эффектом от инвестиций в научные исследования и постепенной цифровизацией производственных процессов.

Таблица 3

Индекс Sust кластера белой бытовой техники в Циндао (2010–2024 гг.)

Год	Sust	Год	Sust
2010	0,124	2018	0,562
2011	0,158	2019	0,608
2012	0,195	2020	0,587
2013	0,237	2021	0,689
2014	0,278	2022	0,782
2015	0,326	2023	0,851



2016	0,385	2024	0,892
2017	0,468	–	–

Источник: рассчитано автором.

Динамика индекса также позволяет говорить о его устойчивости к внешним статистическим корректировкам. В 2018 году в Китае изменилась методология сбора данных по промышленности, что привело к формальному снижению зафиксированного совокупного объема производства кластера с 227 млрд до 107 млрд юаней. Несмотря на этот разрыв в данных, индекс Sust не снизился, а продолжил рост, перейдя с уровня 0,385 в 2016 году на 0,562 в 2018 году. Это доказывает, что индекс не подвержен влиянию единичных показателей, а отражает комплексный прогресс кластера.

Структурный анализ показывает, что рост индекса обеспечивался за счет значительного увеличения патентной активности. Количество выданных патентов на изобретения выросло с 680 в 2010 году до 26854 в 2024 году, среднегодовой темп роста составил 32,4%. Доля умной техники в общем объеме производства увеличилась с 0,5% до 20%. Эти изменения отражают структурную перестройку кластера: предприятия переходят от производства стандартной продукции к выпуску сложной цифровой техники. Данные изменения согласуются с теоретическими положениями, описанными во введении, о том, что промышленный кластер как экосистема должен развиваться не за счет масштаба, а за счет сложности и адаптивности.

Заключение

В ходе исследования был разработан и апробирован комплексный индекс устойчивого развития для промышленного кластера. Индекс включает 12 показателей, сгруппированных по четырем измерениям: экономическая результативность, инновационный потенциал, занятость и социальные эффекты, а также цифровая трансформация. Применение метода энтропийного взвешивания обеспечило объективность полученных оценок. Проверка на данных кластера белой бытовой техники в Циндао за 2010–2024 годы подтвердила работоспособность предложенной методики.

Ключевой вывод состоит в том, что ведущими факторами устойчивого развития в современных условиях выступают инновации и цифровизация. Их совокупный вес в индексе превысил 58%, что существенно выше доли традиционных показателей объема производства и занятости. Индекс показал устойчивый рост с 0,124 до 0,892, что подтверждает высокие темпы трансформации кластера. При этом методика продемонстрировала робастность к изменениям в первичной статистике, что делает ее пригодной для мониторинга в условиях меняющейся отчетности.

Практическая значимость работы заключается в создании измеримого инструмента для оценки эффективности промышленной политики. Предложенный индекс может применяться региональными органами власти для оценки прогресса кластеров. Рекомендуется использовать его для ежегодного мониторинга, а также для сравнительного анализа различных кластеров. Перспективы дальнейших исследований связаны с адаптацией индекса для других отраслей промышленности и расширением набора показателей за счет включения экологических факторов.

Список литературы:

1. Elkington J. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. – Oxford: Capstone, 2000.
2. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // Bell System Technical Journal. – 1948. – Vol. 27. – No. 3. – P. 379-423.



3. Гамидуллаева Л.А. Промышленный кластер региона как локализованная экосистема: роль факторов самоорганизации и коллаборации // *π-Economy*. – 2023. – Т. 16. – № 1. – С. 62-82.
4. Тарасова О.С. Анализ ESG-профиля и устойчивости региональных экономических систем // *Региональная экономика: теория и практика*. – 2025. – Т. 23. – № 12. – С. 4-22.
5. Синтяев С.А. Разработка комплексной системы индикаторов устойчивого развития региональных хозяйственных комплексов в контексте инновационной экономики // *Академический исследовательский журнал*. – 2025. – Т. 3. – № 5. – С. 10-20.
6. Статистическое бюро города Циндао. Статистический ежегодник города Циндао (2011–2025). – Пекин: Издательство «Китайская статистика», 2025.
7. Китайская ассоциация производителей бытовой техники. Анализ состояния развития китайской индустрии бытовой техники (2010–2024). – Пекин, 2025.

