

**Чжан Шулин**

аспирант

ФГБОУ ВО «Московский государственный

университет им. М.В. Ломоносова»

г. Москва

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ СКООРДИНИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЗЕ В ЗАПАДНОМ КИТАЕ**

*Аннотация:* в статье были выбраны данные из 11 провинций западного Китая с 2005 по 2020 год для построения системы оценки скоординированного индекса развития трех систем энергетика-экономика-экология (ЗЕ). С помощью модели оценки степени координации связи был измерен уровень развития подсистем энергетики, экономики и окружающей среды, а также уровень связи и скоординированного развития трех систем в 11 провинциях западного Китая. Результаты показывают: (1) С 2005 по 2020 год индекс развития трех подсистем энергетики, экономики и окружающей среды в западном Китае увеличился из года в год., среди которых рейтинг экономической системы увеличился с 0,076 в 2005 году до 0,987 в 2020 году, при этом ежегодные темпы роста составили 17,9%, что является самой высокой системой среди трех систем. (2) С 2005 по 2020 год комплексное соединение и координация трех систем энергетики, экономики и окружающей среды в западном Китае продемонстрировали общую тенденцию к росту. Коэффициент координации увеличился с 0,263 в 2005 году до 0,976 в 2020 году, а степень координации развилась от состояния умеренного дисбаланса до состояния качественной координации.

*Ключевые слова: система 3Э, скоординированное развитие, региональное развитие, энтропийный метод, Китай.*

В 2020 году Китай предложил цель «двойного углерода»: «достижение пика выбросов углерода и углеродной нейтральности». Поскольку энергетическая отрасль является основной отраслью выбросов углекислого газа, очень важно добиться скоординированного развития энергетики и экономики. Из-за географического положения и неравномерного распределения ресурсов между провинциями и регионами Китая существуют серьезные различия в развитии.

Большинство исследований по скоординированному развитию энергетических, экономических и экологических систем фокусируются на: 1) исследование уровней координации трёх систем региона [1–3]; 2) улучшить существующую модель координации сопряжения [4–6]; 3) изучить влияние внешних факторов на системы 3Э [7–9]. Исследования ученых в области скоординированного развития в основном сосредоточены на временных и пространственных измерениях. При создании системы индексов оценки уровня координации системы 3Э, чем больше информации она содержит, тем выше степень объяснения уровня координации. Целью этой статьи является дальнейшее совершенствование системы индексов оценки и измерение степени региональной координации на основе текущей ситуации в энергетической отрасли Китая. Поскольку западный регион является экономически слабо развитым регионом, анализ уровня скоординированного развития в западном регионе имеет большое значение для Китая для достижения скоординированного развития.

*1. Методы исследования, система показателей оценки и источники данных*

### 1.1. Создание системы индексов оценки системы ЗЭ

При построении системы индексов оценки эта статья ссылается на «Систему индикаторов зеленого развития», выпущенную Национальной комиссией по развитию и реформам, и опирается на исследовательские идеи Яна Юнана [5] и других. Следуя принципам системности, научности и работоспособности, строится система показателей оценки согласованного уровня развития системы ЗЭ, как показано в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1

#### Система показателей оценки энергетической подсистемы западного региона

| Системный уровень              | Показатели                                   | Единица                         |
|--------------------------------|--|---------------------------------|
| производство энергии           | Объем добычи сырого угля                     | 10 000 тонн                     |
|                                | Объем производства кокса                     | 10 000 тонн                     |
|                                | Объем добычи сырой нефти                     | 10 000 тонн                     |
|                                | Производство бензина                         | 10 000 тонн                     |
|                                | Производство мазута                          | 10 000 тонн                     |
|                                | Производство керосина                        | 10 000 тонн                     |
|                                | Добыча природного газа                       | Сто миллионов кубических метров |
|                                | Производство гидроэлектроэнергии             | Сто миллионов киловатт-часов    |
|                                | Производство тепловой энергии                | Сто миллионов киловатт-часов    |
|                                | Городское газоснабжение                      | Сто миллионов кубических метров |
|                                | Городская энергетика                         | Сто миллионов киловатт-часов    |
|                                | Городские поставки сжиженного нефтяного газа | 10 000 тонн                     |
|                                | потребление энергии                          | Общее энергопотребление         |
| Потребление угля               |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление кокса              |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление сырой нефти        |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление бензина            |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление керосина           |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление мазута             |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление дизельного топлива |  | 10 000 тонн                     |
| Потребление природного газа    | Сто миллионов кубических метров              |                                 |

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Потребление электроэнергии                       | Сто миллионов киловатт-часов |
|  | Потребление природного газа населением           | Десять тысяч людей           |
|  | Потребление сжиженного нефтяного газа населением | Десять тысяч людей           |

Таблица 2

## Система показателей оценки экономической подсистемы западного региона

| Системный уровень          | Показатели   | Единица             |
|----------------------------|--|---------------------|
| Уровень производства       | Валовой внутренний продукт   | Сто миллионов Юаней |
|                            | Доля вторичной промышленности в ВВП  | %                   |
|                            | Доля третичной промышленности в ВВП  | %                   |
|                            | ВВП на душу населения  | Юань/чел.           |
|                            | Промышленная добавленная стоимость   | Сто миллионов Юаней |
| Уровень урбанизации        | Доля городского населения  | %                   |
|                            | Доля сельских самозанятых в общей численности населения                            | %                   |
|                            | Доля сельскохозяйственной рабочей силы в общей численности социальной рабочей силы | %                   |
|                            | Уровень городской безработицы  | %                   |
| Уровень внешней торговли   | Общий объем экспорта   | Тысяч долларов      |
|                            | Общий импорт   | Тысяч долларов      |
| Уровень доходов и расходов | Количество предприятий с иностранным капиталом                                     | семья               |
|                            | Бюджетный доход  | Сто миллионов Юаней |
|                            | Финансовые расходы   | Сто миллионов Юаней |
| Уровень потребления        | Премии страховой отрасли   | Сто миллионов Юаней |
|                            | Потребительские расходы городских жителей на душу населения                        | Юань                |
|                            | Располагаемый доход городских жителей на душу населения                            | Юань                |
|                            | Национальный уровень потребления   | Юань                |
|                            | Общий объем розничных продаж социальных потребительских товаров                    | Сто миллионов Юаней |

Таблица 3

## Система показателей оценки экологической подсистемы западного региона

| Системный уровень          | Показатели                                    | Единица |
|----------------------------|---|---------|
| Экологические преимущества | Ежедневное потребление воды на душу населения | литр    |

|                               |   |                                 |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
|                               | Водные ресурсы на душу населения                            | кубическихметров/чел.           |
| Загрязнение окружающей среды  | Общие выбросы диоксида серы                                 | 10 000 тонн                     |
|                               | Образование твердых промышленных отходов                    | 10 000 тонн                     |
|                               | Промышленные выбросы ХПК                                    | 10 000 тонн                     |
| Экологическое управление      | Общееэкологическое потребление воды                         | Сто миллионов кубических метров |
|                               | Завершены инвестиции в борьбу с промышленными загрязнениями | Десять тысяч юаней              |
|                               | Комплексная утилизация твердых промышленных отходов         | 10 000 тонн                     |
|                               | Объем захоронения твердых промышленных отходов              | 10 000 тонн                     |
|                               | Зона контроля водной и почвенной эрозии                     | Тысячи гектаров                 |
|                               | Очистные канализационные сооружения                         | количество                      |
|                               | Суточная мощность очистки городских сточных вод             | 10 000 кубических метров        |
|                               | Безвредный уровень переработки твердых бытовых отходов      | %                               |
|                               | Инвестиции, совершаемые ежегодно в лесной отрасли           | Десять тысяч юаней              |
|                               | Зеленый статус  | Лесной массив                   |
| Опустыненная территория       |   | гектаров                        |
| Посевная площадь              |   | Тысячи гектаров                 |
| Уровень лесного покрова       |   | %                               |
| Водосберегающая зона орошения |   | Тысячи гектаров                 |
| Общая площадь лесонасаждений  |   | Тысячи гектаров                 |
| Городская зеленая зона        |   | гектаров                        |

### 1.2. Источник данных

В этой статье в качестве выборки для исследования были выбраны 11 провинций западного Китая с 2005 по 2020 год и построена система индексов оценки скоординированного уровня развития системы ЗЕ в западном Китае. Что касается стандартов разделения экономических регионов Национального бюро статистики, стандарты разделения западных регионов показаны в таблице 4. Отобранные показатели взяты из Национального бюро статистики, Китайского статистического ежегодника, Китайского статистического ежегодника по энергетике и Китайского статистического ежегодника

по окружающей среде. Для отсутствующих данных в некоторых провинциях мы использовали метод множественной регрессии для выполнения интерполяции, чтобы обеспечить непрерывность данных.

Таблица 4

## Стандарты классификации экономических регионов Китая

| Регион          | Провинции, входящие в регион   |
|-----------------|--|
| Западный регион | Внутренняя Монголия, Гуанси, Чунцин, Сычуань, Гуйчжоу, Юньнань, Тибет, Шэньси, Ганьсу, Цинхай, Нинся, Синьцзян |

*1.3. Методы исследования.**1.3.1. Энтропийный метод*

Учитывая, что каждый показатель по-разному влияет на оценку уровня устойчивого развития, в данной статье будет использоваться энтропийный метод для взвешивания каждого показателя в системе показателей оценки системы ЗЕ.

Конкретные этапы расчета:

Во-первых, для стандартизации данных будет использоваться метод экстремальных значений:

Положительный показатель :

$$x_{sjp} = \frac{y_{sjp} - \min(y_{sj})}{\max(y_{sj}) - \min(y_{sj})} \quad (1)$$

отрицательный показатель :

$$x_{sjp} = \frac{\max(y_{sj}) - y_{sjp}}{\max(y_{sj}) - \min(y_{sj})} \quad (2)$$

Среди них  $x_{sjp}$  – значение после стандартизации,  $y_{sjp}$  – исходные данные j-го показателя в s-й провинции в p-м году,  $\max(y_{sj})$  и  $\min(y_{sj})$  – максимальное и минимальное значения j-го показателя соответственно.

Построить стандартизированную матрицу P:

$$p_{sjp} = \frac{x_{sjp}}{\sum_{i=1}^n x_{sjp}} \quad (3)$$

Рассчитаем значение энтропии j-го показателя:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{sjp} \ln p_{sjp} \quad (4)$$

Среди них,  $k = \frac{1}{\ln(n)} > 0$ .

вычислить избыточность (разность) значения энтропии:

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

рассчитать вес каждого показателя:

$$\omega_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}, j = 1, 2, 3 \dots, m. \quad (6)$$

рассчитать индекс согласованного развития каждой подсистемы системы 3Э отдельно:

$$S_{sp} = \sum_{j=1}^m \omega_j x_{sjp}, j = 1, 2, 3 \dots, n \quad (7)$$

### 1.3.2. Модель координации

Для дальнейшего изучения связей и координации между подсистемами системы 3Э в данной статье строится модель оценки координации взаимодействия систем 3Э в западном Китае на основе индекса скоординированного развития трех систем энергетики, экономики и окружающей среды, рассчитанного на предыдущем этапе. Формула расчета индекса согласованного развития между подсистемами выглядит следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} T_{xy} &= \alpha S(x) + \beta S(y) \\ T_{xz} &= \alpha S(x) + \gamma S(z) \\ T_{yz} &= \beta S(y) + \gamma S(z) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В формуле  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – энергоэкономическая подсистема, энергоэкологическая подсистема и экономико-экологическая подсистема соответственно.  $S(x)$ ,

$S(y)$ ,  $S(z)$  представляют собой согласованный индекс развития энергетической, экономической и экологической подсистем соответственно.  $T_{xy}$ ,  $T_{xz}$ ,  $T_{yz}$  – индекс координации энергоэкономической подсистемы, энергоэкологической подсистемы и экономико-экологической подсистемы соответственно,  $\alpha=\beta=\gamma=1/2$ , что представляет собой вес влияния каждой подсистемы.

Формула расчета модели степени связи подсистемы имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} C_{xy} &= \frac{2\sqrt{S(x)S(y)}}{S(x)+S(y)} \\ C_{xz} &= \frac{2\sqrt{S(x)S(z)}}{S(x)+S(z)} \\ C_{yz} &= \frac{2\sqrt{S(y)S(z)}}{S(y)+S(z)} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

В формуле  $C_{xy}$ ,  $C_{xz}$ ,  $C_{yz}$  представляют собой степени связи энерго-экономической подсистемы, энерго-экологической подсистемы и экономико-экологической подсистемы соответственно.

Формула расчета степени связанности и согласованности развития подсистем выглядит следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} D_{xy} &= \sqrt{C_{xy}T_{xy}} \\ D_{xz} &= \sqrt{C_{xz}T_{xz}} \\ D_{yz} &= \sqrt{C_{yz}T_{yz}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

В формуле  $D_{xy}$ ,  $D_{xz}$ ,  $D_{yz}$  – совмещенный согласованный показатель развития энергоэкономической подсистемы, энергоэкологической подсистемы и экономико-экологической подсистемы.

Формула расчета индекса координации системы 3Е выглядит следующим образом:

$$T_{3E} = \alpha S(x) + \beta S(y) + \gamma S(z) \quad (11)$$

В формуле 3E – система энергетика-экономика-экология,  $T_{3E}$  – индекс координации системы 3E,  $\alpha=\beta=\gamma=1/3$ , это вес влияния каждой подсистемы в системе 3E.

Формула расчета степени связи системы 3E:

$$C_{3E} = \frac{3\sqrt[3]{S(x)S(y)S(z)}}{S(x)+S(y)+S(z)} \quad (12)$$

В формуле  $C_{3E}$  – степень связи системы 3E.

Формула расчета совместного и скоординированного развития системы 3Э выглядит следующим образом:

$$D_{3E} = \sqrt{C_{3E}T_{3E}} \quad (13)$$

Среди них  $D_{3E}$  – индекс сцепления и скоординированного развития системы 3E. Индекс развития координации сцепления находится в пределах от 0 до 1. Чем больше индекс, тем выше уровень развития сцепления. Критерии классификации степени связанности и согласованного развития приведены в таблице 5.

Таблица 5

#### Критерии оценки степени согласованности

| индекс сцепления и скоординированного развития | уровень координации    | индекс сцепления и скоординированного развития | уровень координации         |
|--|------------------------|--|-----------------------------|
| $0 < D \leq 0.1$                               | Крайний беспорядок     | $0.5 \leq D < 0.6$                             | Неохотная координация       |
| $0.1 \leq D < 0.2$                             | Тяжелое расстройство   | $0.6 \leq D < 0.7$                             | Первичная координация       |
| $0.2 \leq D < 0.3$                             | Умеренное расстройство | $0.7 \leq D < 0.8$                             | Координация среднего уровня |
| $0.3 \leq D < 0.4$                             | Легкое расстройство    | $0.8 \leq D < 0.9$                             | Хорошая координация         |
| $0.4 \leq D < 0.5$                             | На грани беспорядка    | $0.9 \leq D < 1$                               | Качественная координация    |

## 2. Анализ эмпирических результатов

2.1. Анализ комплексной оценки и степени координации взаимодействия энергетических, экономических и экологических систем западного Китая

Таблица 6

Комплексный балл и степень координации степени связи энергетических, экономических и экологических систем в западном Китае с 2005 по 2020 год

| Годы | Энергетическая система | Экономическая система | Экологическая система | Степень координации взаимодействия энергетики, экономики и окружающей среды | Степень координации сцепления |
|------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---|-------------------------------|
| 2005 | 0.447                  | 0.076                 | 0.166                 | 0.263   | Умеренное расстройство        |
| 2006 | 0.423                  | 0.091                 | 0.134                 | 0.244   | Умеренное расстройство        |
| 2007 | 0.440                  | 0.122                 | 0.127                 | 0.258   | Умеренное расстройство        |
| 2008 | 0.424                  | 0.187                 | 0.166                 | 0.391   | Легкое расстройство           |
| 2009 | 0.405                  | 0.262                 | 0.251                 | 0.48  | На грани беспорядка           |
| 2010 | 0.391                  | 0.329                 | 0.295                 | 0.505   | Неохотная координация         |
| 2011 | 0.352                  | 0.393                 | 0.277                 | 0.309   | Легкое расстройство           |
| 2012 | 0.372                  | 0.484                 | 0.315                 | 0.498   | На грани беспорядка           |
| 2013 | 0.385                  | 0.560                 | 0.343                 | 0.567   | Неохотная координация         |
| 2014 | 0.399                  | 0.614                 | 0.604                 | 0.695   | Первичная координация         |
| 2015 | 0.405                  | 0.639                 | 0.619                 | 0.718   | Координация среднего уровня   |
| 2016 | 0.393                  | 0.686                 | 0.717                 | 0.721   | Координация среднего уровня   |
| 2017 | 0.445                  | 0.780                 | 0.765                 | 0.853   | Хорошая координация           |
| 2018 | 0.519                  | 0.838                 | 0.807                 | 0.961   | Качественная                  |

|      |       |       |       |       |                          |
|------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|
|      |       |       |       |       | координация              |
| 2019 | 0.543 | 0.893 | 0.781 | 0.988 | Качественная координация |
| 2020 | 0.529 | 0.897 | 0.779 | 0.976 | Качественная координация |

Объединив таблицу 6, мы видим, что комплексные оценки трех систем энергетики, экономики и окружающей среды в западном Китае растут из года в год. Среди них рейтинг экономической системы увеличился с 0,076 в 2005 году до 0,897 в 2020 году, при этом ежегодные темпы роста составили 17,9%, что является самым высоким темпом роста среди трех систем. Оценка экологической системы увеличилась с 0,166 в 2005 году до 0,779 в 2020 году, при среднегодовом приросте на 10,84%. Рейтинг энергетической системы увеличился с 0,447 в 2005 году до 0,529 в 2020 году, при этом среднегодовой прирост составил 1,14%, что является наименьшим изменением. С 2005 по 2010 год степень комплексной координации систем 3Э энергетики, экономики и окружающей среды в западном регионе имела тенденцию к росту: коэффициент координации увеличился с 0,263 до 0,505, от умеренного диссонанса до едва скоординированного состояния. С 2010 по 2012 год степень комплексной координации снизилась, а коэффициент координации снизился с 0,505 до 0,498, что было на грани дисбаланса. С 2012 по 2017 год степень комплексной координации начала быстро восстанавливаться и значительно увеличилась. Коэффициент координации увеличился с 0,498 до 0,853, впервые достигнув хорошего состояния координации. С 2018 по 2020 год коэффициент координации увеличивался из года в год. С 2018 по 2020 год коэффициент координации был выше 0,9, что является состоянием качественного

скоординированного развития. Это показывает, что общая степень скоординированного развития системы 3Э в западном Китае год от года становится лучше, а степень координации превратилась из состояния умеренного дисбаланса в состояние координации высокого качества.

### *Заключение*

На основе данных из 11 провинций западного Китая в этой статье измеряется уровень развития трех системных подсистем энергетика-экономика-окружающая среда (3Е) и уровень скоординированного развития связи трех систем. Результаты показывают:

(1) С 2005 по 2020 год индекс развития трех подсистем энергетики, экономики и окружающей среды в западном Китае увеличивался из года в год, среди которых рейтинг экономической системы увеличился с 0,076 в 2005 году до 0,987 в 2020 году, при этом ежегодные темпы роста составили 17,9%, что является самой высокой системой среди трех систем.

(2) С 2005 по 2020 год комплексное соединение и координация трех систем энергетики, экономики и окружающей среды в западном Китае продемонстрировали общую тенденцию к росту. Коэффициент координации увеличился с 0,263 в 2005 году до 0,976 в 2020 году, а степень координации развилась от состояния умеренного дисбаланса до состояния качественной координации.

(3) Для дальнейшего повышения эффективности использования энергии в западном регионе необходимо увеличить инвестиции во внедрение инновационных технологий. Что касается окружающей среды, необходимо улучшить правила охраны окружающей среды, усилить надзор и усилить экологическое

управление, а также восстановить и обработать серьезно загрязненные территории. Для различных провинций региона необходимо разработать соответствующую политику охраны окружающей среды с учетом условий провинции.

### *References*

1. Chen Liming, Wang Ying, Tian Jianfang. An empirical study on the coordination of energy-economy-environment system in China's provinces. *Financial Theory and Practice*. 2015. 36 (01): 105–110.
2. Wang Feng, Fu Lifang, Qin Yuhui. Spatial-temporal differences and trend prediction of provincial «energy-economy-environment» (3E) system coordination degree. *Journal of Shanxi University of Finance and Economics*. 2016. 38 (06):15–27.
3. Uribe-Toril J., Ruiz-Real J.L., Milán-García J. et al. Energy, economy, and environment: A world-wide research update. *Energies*. 2019. 12:1120. DOI 10.3390/en12061120. EDN SMDSSS
4. Liu Yinge, Wang Shaoxiong. Comprehensive evaluation of coordination degree of 3E system in Shaanxi Province based on entropy weight P-S-R model. *Environmental Protection Science*. 2018. 44 (06):42–49.
5. Yan Yunan, Liu Yubang. Research on evaluation of coupling coordination of Sichuan 3E system based on distance coordination and GM model. *Mathematics in Practice and Cognition*. 2020. 50 (24): 241–250.
6. An Guixin, Yao Shuai. Research on the coordinated development evaluation of 3E system in Shandong Province based on entropy weight fuzzy object element model. *Henan Science*. 2015. 33 (12): 2211–2216.
7. Luo Fuzhou, Zhang Nuonan. Analysis of spatiotemporal coupling coordination

degree of China's inter-provincial energy utilization-economic development-environmental protection system. *Environmental Pollution and Control*. 2020. 42 (07): 884–889.

8. Zhao Di. The impact of energy conservation and emission reduction policies on my country's energy-economy-environment system. Beijing: North China Electric Power University, 2017.

9. Zhao Tao, Yu Chenxia, Pan Hui. Research on coupling coordination degree of 3E1S system in low-carbon city. *Statistics and Decision*. 2019. 35 (22): 131–135.