

УДК 332.13  
<http://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-10-1361-1372>

## Разработка интегрированной многоуровневой модели оценки энергетической эффективности на примере регионов СЗФО

**Влад Владиславович Занин**

Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики, Санкт-Петербург, Россия,  
[zanin.w@mail.ru](mailto:zanin.w@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7683-7403>

### Аннотация

**Цель.** Разработка и апробация интегрированной многоуровневой модели на примере регионов Северо-Западного федерального округа (СЗФО), подтверждающая наличие стимулирующего воздействия повышения энергоэффективности на темпы социально-экономического развития территории.

**Задачи.** С помощью предложенной интегрированной многоуровневой модели провести количественный анализ энергетической эффективности в региональной экономике и выявить проблемы ее повышения в регионах СЗФО; рассчитать интегральный индекс энергоэффективности; сформировать типологию регионов и кластеров по энергоэффективности.

**Методология.** Методологической основой стали научные положения теории моделирования, теории регионального развития и управления экономическими системами, отраженные в трудах известных российских и зарубежных ученых. Их применение позволило разработать интегрированную многоуровневую модель оценки энергоэффективности, объединяющую экономические, экологические и социальные параметры. Данная модель обеспечивает комплексный подход к оценке энергоэффективности, и ее используют для разработки стратегий, направленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и улучшение качества жизни населения. Автором статьи применены методы экономического моделирования и комплексной оценки, а также регрессионный, кластерный и индексный анализ.

**Результаты.** Апробация предложенной интегрированной многоуровневой модели на примере регионов СЗФО позволила провести исследование энергетической эффективности в региональной экономике, раскрыть проблемы ее повышения применительно к регионам, обосновать показатели для расчета интегрального индекса энергоэффективности и определить его. В соответствии с этим индексом сформированы типология и кластерные группы регионов СЗФО. Методическая основа, обеспечивающая комплексный подход к анализу и оценке энергетической эффективности в региональных экономических системах, учитывает уникальные социально-экономические и природные условия каждого региона.

**Выводы.** Территориально-дифференцированный подход, находящийся в основе предложенного моделирования, направлен на создание инструмента, обеспечивающего релевантность оценки энергетической ситуации в каждом регионе, что способствует разработке целевых стратегий по улучшению энергоэффективности и качества жизни населения в регионах СЗФО. Проведенное исследование подтверждает необходимость применения интегрированного подхода к анализу и оценке энергоэффективности, сочетающего экономико-математическое моделирование, системный анализ и территориально-дифференцированный подход. Это позволяет вырабатывать стратегические меры, которые помогают адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивают долгосрочное социально-экономическое развитие регионов СЗФО и других регионов страны.

**Ключевые слова:** энергоэффективность региональной экономики, оценка энергоэффективности, экономико-математическое моделирование, интегрированные многоуровневые модели, регионы

**Для цитирования:** Занин В. В. Разработка интегрированной многоуровневой модели оценки энергетической эффективности на примере регионов СЗФО // *Экономика и управление*. 2025. Т. 31. № 10. С. 1361–1372. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-10-1361-1372>

© Занин В. В., 2025

# Development of an integrated multi-level model for assessing energy efficiency using the example of the regions of the Northwestern Federal District

Vlad V. Zanin

St. Petersburg University of Management Technologies and Economics, St. Petersburg, Russia, [zanin.w@mail.ru](mailto:zanin.w@mail.ru),  
<https://orcid.org/0000-0001-7683-7403>

## Abstract

**Aim.** The work aimed to develop and test an integrated multi-level model using the Northwestern Federal District (NWFD) as an example, confirming the stimulating effect of energy efficiency improvements on the region's socioeconomic development rates.

**Objectives.** The work seeks to conduct a quantitative analysis of energy efficiency in the regional economy using the proposed integrated multi-level model and identify challenges in improving it in the NWFD regions; calculate an integrated energy efficiency index; and develop a typology of regions and clusters based on energy efficiency.

**Methods.** The methodological background is based on the scientific principles of modeling theory, regional development theory, and economic system management, presented in the works of prominent Russian and international scientists. These were applied for the development of an integrated multi-level energy efficiency assessment model that integrates economic, environmental, and social parameters. This model provides a comprehensive approach to energy efficiency assessment and is used to develop strategies aimed at minimizing negative environmental impacts and improving the quality of life of the population. The author of this article applied economic modeling and integrated assessment methods, as well as regression, cluster, and index analysis.

**Results.** Testing the proposed integrated multi-level model using the NWFD regions as an example enabled to conduct a study of energy efficiency in the regional economy, identify challenges in improving it across regions, as well as substantiate indicators for calculating and defining an integrated energy efficiency index. Based on this index, a typology and cluster groups of the NWFD regions were developed. This methodological framework, which provides a comprehensive approach to analyzing and assessing energy efficiency in regional economic systems, takes into account the unique socioeconomic and natural conditions of each region.

**Conclusions.** The territorially differentiated approach underlying the proposed modeling is aimed at creating a tool that ensures the relevance of energy situation assessments in each region, thereby facilitating the development of targeted strategies to improve energy efficiency and quality of life in the NWFD regions. The study confirms the need for an integrated approach to energy efficiency analysis and assessment, which combined economic and mathematical modeling, systems analysis, and a territorially differentiated approach. This enables the development of strategic measures that help adapt to changing conditions and ensure the long-term socioeconomic development of the NWFD and other regions of Russia.

**Keywords:** regional economic energy efficiency, energy efficiency assessment, economic and mathematical modeling, integrated multi-level models, regions

**For citation:** Zanin V.V. An integrated multi-level energy efficiency assessment model (using the Northwestern Federal District as an example). *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2025;31(10): 1361-1372. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2025-10-1361-1372>

## Введение

В условиях непрерывного, динамичного экономического роста и ускоренной трансформации энергетического сектора особенно актуальны вопросы оценки энергоэффективности на региональном уровне. Показатели энергоэффективности отражают внутренние резервы роста региональной экономики. Это обуславливает необходимость совершенствования инструментального аппарата оценки, особенно

в аспекте моделирования межрегиональных различий, энергоемкости экономической деятельности и потенциальной ресурсной уязвимости. Отсутствие универсальных решений требует интеграции многомерных методов оценки энергоэффективности. В этих условиях становится необходимым проведение исследования взаимосвязей между состоянием энергетической эффективности и параметрами регионального развития с применением экономико-математического моделирования.

Многообразие методик оценки энергетической эффективности указывает на возможность анализа лишь отдельных критериев. Однако устойчивое развитие требует согласованного учета всех факторов в единой аналитико-управленческой конструкции. В этой связи особую значимость приобретает разработка интегрированной многоуровневой модели оценки энергетической эффективности, способной объединить разрозненные показатели в целостную систему. Такие модели объединяют экономические, экологические и социальные параметры, обеспечивая комплексный подход к оценке энергетической эффективности и позволяют оценивать влияние энергосберегающих мероприятий на устойчивость экономики, экологические показатели и социальную устойчивость. Данный подход использован для разработки стратегий, направленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и улучшение качества жизни населения.

Интегрированные многоуровневые модели — это подходы, объединяющие знания из разных областей, для выработки определенной политики, которая учитывает возникающие барьеры и ограничения, препятствующие ее реализации. Примерами таких моделей служат интегрированная модель глобальной системы (IGSM) Массачусетского технологического института [1]; модель оценки региональных и глобальных эффектов политики сокращения выбросов парниковых газов Стэнфордского университета [2]; инженерно-экономические модели, с помощью которых создан подход для интеграции энергетического сектора с макроэкономической оценкой и оценкой климатической политики [3]; модельный комплекс, разработанный исследовательским центром в Европейском союзе (ЕС), который представляет собой интегрированные модели, оценивающие изменения климата и его влияние на основные отрасли производства, здоровье, экосистемы, макроэкономику, социальное обеспечение, иные сферы в ЕС<sup>1</sup>.

Моделирование факторов, влияющих на региональную энергоэффективность, требует многокомпонентного подхода, учитывающего технологическую диффузию и эффект выравнивания между регионами. Применение интегрированных подходов к анализу регио-

нальной энергоэффективности служит основой для разработки обоснованной политики в сфере управления энергоресурсами и способствует устойчивому развитию на уровне регионов [4]. При разработке интегрированных подходов к моделированию учитывают региональные особенности энергетической политики, позволяя адаптировать стратегии повышения энергоэффективности с учетом местных условий [5].

Формирование региональных программ в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) требует анализа данных на макро- и мезоуровне с учетом потребления электроэнергии, электровооруженности, структуры и динамики валового внутреннего продукта, численности населения, уровня занятости и производительности труда. Для анализа этих показателей необходимо разработать экономико-математические модели, позволяющие оценить влияние региональных экономических программ на энергоемкость и энергопотребление, а также адаптировать энергосистему к специфике каждого региона [6].

В работе мы предлагаем интегрированную многоуровневую модель, отражающую логическую взаимосвязь между энергетической эффективностью и региональным развитием, в которой энергетическая эффективность оценена как мультифакторный феномен, зависящий от институционального, технологического и ресурсного профиля региона. Модель опирается на многоуровневый комплексный эконометрический анализ, что позволяет охватывать широкий спектр социально-экономических, экологических и институциональных факторов, формируя научную основу для разработки стратегий энергоэффективности. Комплексный подход к анализу энергоэффективности позволяет осуществлять статическую оценку состояния энергосистем и формировать адаптивные меры воздействия, ориентированные на устранение инфраструктурных асимметрий, снижение технологических потерь и повышение инвестиционной гибкости в сфере энергетики. В модели представлены инструменты (моделирование, индексирование, факторный анализ, кластеризация), которые служат основой для последующего анализа данных и комплексной оценки энергоэффективности.

<sup>1</sup> Грушевенко Е. Моделирование сценариев декарбонизации и адаптации: роль в принятии политических и экономических решений // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. 2021. Май. URL: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_RU\\_Modeling.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_RU_Modeling.pdf) (дата обращения: 19.09.2025).

Внедрение модели, основанной на данном подходе, позволяет учитывать динамическую изменчивость макроэкономических и микроэкономических условий, технологический уровень региональной инфраструктуры и ресурсную обеспеченность. Такой подход обеспечивает региональным органам власти и предприятиям инструментальную поддержку для принятия решений, направленных на снижение удельных энергозатрат, минимизацию негативных внешних эффектов и повышение устойчивости развития.

## Материалы и методы

В исследовании использованы стратегические документы субъектов Российской Федерации (РФ), входящих в состав Северо-Западного федерального округа (далее — СЗФО), статистические материалы Росстата. В ходе исследования применены методы экономического моделирования и комплексной оценки, а также регрессионный, кластерный и индексный анализ.

## Результаты

Апробация предложенной интегрированной многоуровневой модели на примере регионов СЗФО осуществлена в течение нескольких этапов.

1. Сформирована исходная информационная база для регрессионного моделирования энергетической эффективности, которая представляет следующие группы индикаторов:

- энергетические, то есть показатели валового потребления электроэнергии, удельного потребления, объемов выработки электроэнергии;

- экономические, в частности валовой региональный продукт (ВРП), обороты розничной и оптовой торговли, финансовые результаты деятельности органов власти и организаций;

- социально-демографические, то есть численность населения, уровень занятости и безработицы, структуру доходов и расходов домашних хозяйств;

- инвестиционные, то есть абсолютные и удельные показатели капитальных вложений;

- экологические, то есть объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, долю улавливаемых загрязнений, объемы водо-

пользования, а также показатели смертности от заболеваний, связанных с экологической обстановкой;

- индикаторы инновационной активности, представленные данными о внутренних затратах на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), а также на реализацию инновационных проектов.

2. На основе обработанных данных по субъектам СЗФО за 2023 г. выделено несколько ключевых блоков анализа энергетической эффективности.

Блок 1. Энергетическое потребление и генерация электроэнергии. Это представлено в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, сегмент высокоудельного бытового спроса демонстрируют Республика Карелия и Мурманская область при относительно низких объемах генерации. Вологодская область сохраняет статус крупнейшего индустриального потребителя, при этом коэффициент самопокрытия не превышает 0,11. Санкт-Петербург, несмотря на развитую инфраструктуру, сохраняет статус крупнейшего нетто-импортера электроэнергии (дефицит около 22 млрд кВт·ч). Наиболее сбалансированную структуру показывает Калининградская область: производство покрывает до 42 % внутреннего спроса благодаря ориентации на автономность.

Блок 2. Экологическая эффективность энергетического комплекса. Это отражено в таблице 2.

Как показано в таблице 2, Мурманская и Ленинградская области характеризуются выраженным отрицательным экологическим балансом ввиду функционирования эффективных систем газо- и пылеулавливания. Республика Коми — ключевая зона экологического риска (положительный баланс +185 тыс. т при высоких объемах выбросов).

Блок 3. Социально-экономические показатели и их связь с энергетикой. Это представлено в таблице 3.

Анализ данных таблицы 3 свидетельствует о том, что энергонапряженные регионы (Республика Карелия, Мурманская область) характеризуются относительно высоким средним доходом, что способствует снижению социального напряжения и поддержанию уровня жизни. Наиболее сложная социальная ситуация наблюдается в Псковской области (12,5 % населения ниже уровня

## Энергоснабжение и структура потребления электроэнергии в регионах СЗФО

Table 1. Energy supply and electricity consumption structure in the regions of the Northwestern Federal District

Регион	Потребление, млн кВт·ч	Производство, млрд кВт·ч	Установленная мощность, млн кВт	Удельное потребление, кВт·ч/чел.	Население, тыс. чел.	Соотношение производство/потребление
СЗФО (всего)	116 332	123,1	28,6	8 397	13 857	1,06
Республика Карелия	8 512	5,1	1,1	16 187	526	0,60
Республика Коми	8 754	10,2	3	12 099	724	1,17
Архангельская область	10 283	8,7	2,7	10 263	1 002	0,85
Вологодская область	14 960	10	1,6	13 297	1 125	0,67
Калининградская область	4 792	4,7	2	4 638	1 033	0,98
Ленинградская область	23 087	41,5	8,7	11 374	2 031	1,80
Мурманская область	11 938	18,2	3,9	18 154	657	1,52
Новгородская область	4 892	1,9	0,5	8 527	574	0,39
Псковская область	2 338	0,2	0,5	4 000	584	0,09
Санкт-Петербург	26 776	22,6	4,7	4 782	5 600	0,84

Источник: [7].

## Экологическая эффективность региональных энергосистем

Table 2. Environmental efficiency of regional energy systems

Регион	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тыс. т	Улавливание загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников, тыс. т	Экологическая нагрузка, тыс. т
СЗФО (суммарно)	1 624	4 580	-2 956
Мурманская область	147	1 862	-1 715
Ленинградская область	234	1 033	-799
Вологодская область	367	851	-484
Архангельская область	187	308	-121
Новгородская область	71	179	-108
Республика Карелия	135	123	+12
Калининградская область	30	13	+17
Псковская область	43	16	+27
Санкт-Петербург	67	36	+31
Республика Коми	344	159	+185

Источник: составлено на основе [7].

бедности при минимальном удельном спросе). Санкт-Петербург выступает в роли социального и экономического центра с наименьшей относительной безработицей и максимальным уровнем доходов населения.

Блок 4. Инновационная и инвестиционная активность регионов. Это находит отражение в таблице 4.

Как следует из таблицы 4, более 60 % капитальных вложений и 87 % расходов на НИОКР приходится на Санкт-Петербург и Ленинградскую область, что отражает структурную концентрацию инновационного потенциала. В Калининградской области наблюдается рост инновационных расходов, обусловленный реализацией проектов по формированию так называемого энергоострова

**Социально-экономический профиль регионов СЗФО**

Table 3. Socioeconomic profile of the regions of the Northwestern Federal District

Регион	Средний душевой доход, руб.	Потребительские расходы в среднем на душу населения, руб.	Кол-во безработных, тыс. чел	Уровень бедности, %
СЗФО (среднее)	58 669	47 100	203	9,2
Санкт-Петербург	72 037	59 969	51	4,4
Ленинградская область	45 989	38 583	31	6,8
Калининградская область	43 543	36 496	17	10,2
Вологодская область	42 708	31 167	17	9,7
Республика Коми	56 152	39 531	17	11,5
Республика Карелия	53 068	43 443	14	10,2
Мурманская область	75 786	51 217	12	6,7
Псковская область	39 898	32 386	9	12,5
Новгородская область	38 903	32 064	7	10,8

Источник: составлено на основе [7].

**Инвестиционно-инновационная активность регионов СЗФО**

Table 4. Investment and innovation activity of the regions of the Northwestern Federal District

Регион	Инвестиции в основной капитал, млн руб.	Доля в округе, %	Затраты на инновационную деятельность организаций, млн руб.	Внутренние затраты на научные исследования и разработки по областям науки, млн руб.
СЗФО (итого)	3 074 202	100	264 895	214 385
Санкт-Петербург	1 195 595	38	184 337	184 850
Ленинградская область	685 584	22	47 787	11 156
Мурманская область	266 940	9	2 565	3 762
Вологодская область	168 815	5	2 105	1 220
Архангельская область	205 951	7	1 161	2 327
Калининградская область	195 973	6	14 458	2 331
Республика Коми	128 590	4	3 360	3 677
Новгородская область	75 544	2	2 460	3 147
Псковская область	47 602	2	743	262
Республика Карелия	103 609	3	5 918	1 654

Источник: составлено на основе [7].

и развитию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Республика Коми по-прежнему характеризуется ограниченным уровнем инвестиционной активности и минимальной инновационной отдачей.

Блок 5. Транспортно-логистическая инфраструктура и ее влияние на энергоемкость. Архангельская область (21,0 тыс. км дорог) и Вологодская область (24,2 тыс. км дорог) обладают одной из наиболее развитых дорожных сетей в округе, что способствует повышению мобильности, но одновременно приводит к увеличению энергетических затрат в транспортном секторе. В отличие от

них, Калининградская область, обладающая ограниченной протяженностью автомобильных дорог (9,0 тыс. км) и железнодорожных путей (611,0 км), благодаря компактности территории, имеет меньший уровень транспортной энергоемкости [7].

Блок 6. Демографические условия и энергетические потребности. Структура и численность населения регионов СЗФО существенно определяют масштабы и характер энергетического спроса. Санкт-Петербург — крупнейший по населению субъект (5 601,9 тыс. чел.) — формирует высокую долю в общем бытовом и коммерческом потреблении

электроэнергии округа, что обуславливает необходимость повышения энергоэффективности городской инфраструктуры и систем коммунального хозяйства. На другом полюсе располагается Ненецкий автономный округ с наименьшей численностью населения (42,8 тыс. чел.), на территории которого вследствие экстремальных климатических условий и разветвленной системы теплоснабжения формируется одна из наиболее высоких удельных энергоемкостей на душу населения [7].

Изложенные результаты представляют собой аналитическую базу для комплексной диагностики энергоэффективности субъектов РФ СЗФО и обосновывают целесообразность корректировки управленческих стратегий с учетом выявленных ключевых проблем повышения энергетической эффективности. К ним можно отнести следующие.

1. Неравномерное распределение инноваций и технологий — периферийные территории имеют ограниченную способность к обновлению инфраструктуры и внедрению современных энергосберегающих решений.

2. Низкий уровень самообеспеченности энергией в ряде субъектов — значительная дифференциация (от 18 % в Санкт-Петербурге до более 40 % в Калининградской области) создает дисбаланс в доступе к энергоресурсам. Дисбаланс между генерацией и потреблением энергии наиболее остро проявляется в Калининградской области и Санкт-Петербурге, что требует комплексных мер балансировки.

3. Высокие сетевые потери — особенно характерны для Псковской и Новгородской областей, приводят к неэффективному использованию ресурсов и росту издержек.

4. Износ и недостаточная модернизация генерирующих мощностей — необходимость обновления газовых блоков (Ленинградская область, Республика Коми) и других ключевых объектов.

5. Фрагментация энергетической инфраструктуры — отсутствие целостности и взаимосвязанности сетей в ряде регионов, что затрудняет оптимизацию энергопотоков.

6. Отсутствие гибких региональных стратегий энергоэффективности — меры, эффективные для одного субъекта (например, Мурманской области), не подходят для другого (например, Санкт-Петербурга), что снижает результативность программ.

7. Недостаточная цифровизация и системный мониторинг — ограниченное внедрение интеллектуальных систем управления

энергопотреблением и диагностики состояния инфраструктуры.

8. Экологическая нагрузка и углеродная интенсивность — значительные различия по удельным выбросам между регионами требуют регионально-специфичных экологических стратегий.

Таким образом, учет этих проблем в регионах СЗФО показывает, что повышение энергетической эффективности невозможно без внедрения целенаправленных инструментов, адаптированных к условиям отдельных субъектов РФ округа. Особый интерес представляет рассмотрение практических инструментов по повышению региональной энергетической эффективности.

Использование регрессионного анализа позволило выявить связи параметров, влияющих на ключевые модели, представленные удельным энергопотреблением, энергоемкостью ВРП, объемом электрогенерации, инновационным потенциалом и экологической нагрузкой. Проведенный индексный анализ помогает определить весовость ряда показателей, что предоставило возможность установить их относительную значимость в общей системе оценки. На основе полученных весов рассчитан интегральный индекс по формуле:

$$IEE_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot z_{ij},$$

где  $IEE_i$  — интегральный индекс энергетической эффективности региона  $i$ ;

$z_{ij}$  — нормализованное значение признака  $j$  в регионе  $i$ ;

$w_j$  — весовой коэффициент признака  $j$ , полученный из структуры главных компонент.

В соответствии с этим осуществлено ранжирование регионов, отраженное в таблице 5.

Лидирующие регионы:

– Мурманская область ( $IEE = 0,639$ ) — максимальное значение, обусловленное индустриальной специализацией, высокой энергетической активностью и развитой инфраструктурой экологической компенсации;

– Санкт-Петербург ( $IEE = 0,608$ ) — сбалансированная структура с высокой доходностью, энергоэффективной экономикой и прогрессивной социальной системой;

– Ленинградская область ( $IEE = 0,553$ ) — синергия инвестиционных и энергетических характеристик.

Субъекты с умеренными значениями:

– Республика Коми и Архангельская область ( $IEE \approx 0,457$  и  $0,397$ ) демонстрируют

**Ранжирование регионов по интегральному индексу IEE**

Table 5. Ranking of regions by the integrated Energy Efficiency Index

Регион	IEE	Ранг	Интерпретация
Мурманская область	0,6389	1	Развитая энергетика, высокий экспортный потенциал, значительный промышленный сектор и инвестиции в энергетику
Санкт-Петербург	0,6076	2	Высокие доходы населения, модернизированная энергетическая инфраструктура, эффективная экологическая политика
Ленинградская область	0,5529	3	Высокий уровень производства электроэнергии, активная инвестиционная динамика
Республика Коми	0,4570	4	Сильный ТЭК, высокие объемы промышленной продукции и энергетической активности
Архангельская область	0,3967	5	Индустриализация, наличие развитой энергетической инфраструктуры, меры экологического контроля
Вологодская область	0,3768	6	Снижение темпов инвестирования, умеренные показатели социальной и экономической динамики
Республика Карелия	0,2575	7	Ограниченные инвестиционные потоки, слабые темпы модернизации энергетического сектора
Калининградская область	0,1674	8	Ограниченный доступ к ресурсам, сравнительно низкая энергетическая мощность и инфраструктура
Новгородская область	0,1488	9	Низкий уровень инвестиций, ограниченное потребление энергии, слабая инфраструктура
Псковская область	0,0366	10	Минимальные объемы инвестиций, демографические ограничения, низкая энергетическая активность

Источник: составлено автором.

выраженные энергетические и экологические компоненты, однако ограничены институциональной зрелостью.

Наименее эффективные регионы:

– Псковская область ( $IEE = 0,037$ ) — минимальный индекс, что отражает структурную уязвимость, низкий инвестиционный и энергетический потенциал;

– Новгородская и Калининградская области, Республика Карелия — находятся в «хвосте» рейтинга с индексами  $< 0,26$ .

Таким образом, полученная модель отражает многомерную структуру энергетической устойчивости регионов, избегая чрезмерного акцента на каком-либо одном аспекте.

На данном этапе возникает необходимость перехода от обобщенных индикаторов к структурированию регионального пространства. Это требует формирования типологии регионов по энергетическим и социально-экономическим характеристикам, которая представлена в таблице 6.

Предложенная типология регионов СЗФО по интегральному индексу энергоэффективности отражает не столько различия в достигнутых результатах, сколько принципиально разные механизмы их формирования. Для индустриально развитых субъектов округа энергоэффективность обеспечена сочетанием масштабных производственных

мощностей и сравнительно устойчивой энергетической базы. На первый план выходят эффекты масштаба и возможности для технологической модернизации, что позволяет поддерживать конкурентоспособность даже при высоких нагрузках на инфраструктуру. Вместе с тем ключевым риском данной группы остаются зависимость от конъюнктуры ресурсных рынков и ограниченная гибкость в условиях структурных изменений спроса.

Таким образом, представленная типология свидетельствует о том, что различия регионов заключаются не столько в величине интегрального показателя, сколько в источниках его формирования. Это задает основу для дифференцированной региональной политики, предполагающей поддержку индустриально развитых территорий в аспекте технологической гибкости, развитие инструментов управления спросом в урбанизированных центрах и комплексное обновление инфраструктуры в периферийных субъектах округа.

В рамках оценки энергетической эффективности и устойчивости региональных энергетических систем особое значение приобретает анализ дифференциации регионов России. Регрессионный анализ позволяет проследить основные закономерности влияния ключевых факторов на параметры энергоэффективности, однако не дает



Типология регионов по группам  
Table 6. Typology of regions by groups

Тип региона	Критерии	Примеры регионов	Уровень <i>IEE</i>
Индустриально-устойчивые	Высокие значения: – потребление энергии на душу населения; – инвестиции в основной капитал на душу населения; – производство электроэнергии; – выбросы и улавливание загрязняющих веществ	Мурманская область (0,639), Ленинградская область (0,553)	> 0,55
Социально-инфраструктурные лидеры	Высокие значения: – среднедушевые доходы населения; – средний размер назначенных пенсий; – уровень занятости; – низкий уровень безработицы; – сбалансированная экология	Санкт-Петербург (0,608)	≈ 0,61
Среднеэффективные индустриально-сырьевые	Умеренные показатели: – ВРП, ВРП на душу населения; – производство электроэнергии; – инвестиции в основной капитал; – среднедушевые доходы населения; – уровень занятости населения	Республика Коми (0,476), Архангельская область (0,451)	0,45–0,48
Промежуточные индустриально-инфраструктурные	Несбалансированная структура: – относительно высокое энергопотребление; – низкие инновационные расходы; – ограниченные доходы бюджета	Вологодская область (0,434)	0,43
Транзитивные социально-ресурсные	Средние показатели: – природные ресурсы (использование свежей воды, выбросы загрязняющих веществ); – инвестиционная активность; – среднедушевые доходы населения	Республика Карелия (0,2575)	0,2–0,3
Инфраструктурно-сбалансированные, но ограниченные	Умеренные показатели: – потребительские расходы; – розничная и оптовая торговля; – сальдо финансовых результатов; – слабая генерация	Калининградская область (0,167)	0,16–0,17
Социально-демографически сдерживаемые	Низкие показатели: – низкий уровень занятости; – высокий уровень бедности; – слабые инвестиции; – изношенная инфраструктура	Новгородская область (0,149)	0,14–0,15
Аутсайдеры периферийные	Минимальные показатели: – инвестиции в основной капитал; – среднедушевые доходы населения; – высокий уровень бедности; – низкое энергопотребление	Псковская область (0,037)	< 0,05

Источник: разработано на основе [7]. См.: О Стратегии социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года: закон Санкт-Петербурга от 19 декабря 2018 г. № 771-164 (в ред. от 26.11.2020) // Гарант.ру. URL: <https://base.garant.ru/43455730/?ysclid=mggtg79dsnm494752343> (дата обращения: 19.09.2025); Стратегия социально-экономического развития Ленинградской области до 2036 года: утв. областным законом № 70-оз от 23 июня 2025 г. // Инвестиционный портал Ленинградской области. URL: <https://lenobinvest.ru/o-regione/strategiya-2036/?ysclid=mggtg9t9qo9437544552> (дата обращения: 19.09.2025); О Стратегии социально-экономического развития Калининградской области на долгосрочную перспективу: постановление Правительства Калининградской области от 2 августа 2012 г. № 583 (в ред. от 05.06.2019) // Минэкономразвития России. URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/45617ab62a15ace2901a9c13ecbae314/proekt\\_strategii.pdf?ysclid=mggtgaq0q5v831563806](https://www.economy.gov.ru/material/file/45617ab62a15ace2901a9c13ecbae314/proekt_strategii.pdf?ysclid=mggtgaq0q5v831563806) (дата обращения: 19.09.2025); Стратегия социально-экономического развития Республики Карелия до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Республики Карелия от 29 декабря 2018 г. № 899р-П // Гарант.ру. URL: <https://base.garant.ru/42633076/?ysclid=mggtgj8pkz248329819> (дата обращения: 19.09.2025); Стратегия социально-экономического развития Архангельской области до 2035 года: утв. законом Архангельской области от 18 февраля 2019 г. № 57-5-03 // Гарант.ру. URL: <https://base.garant.ru/48961066/?ysclid=mggtgkpo1se794547664> (дата обращения: 19.09.2025); Стратегический план развития Мурманской области до 2030 года «На Севере — жить!»: утв. распоряжением Правительства Мурманской области от 28 декабря 2024 г. № 460-ПП // Правительство Мурманской области. URL: <https://gov-murman.ru/regulatory/pnszh/?ysclid=mggtgmy2zpj458761113> (дата обращения: 19.09.2025); О Стратегии социально-экономического развития Новгородской области до 2030 года: закон Новгородской области от 9 июля 2012 г. № 100-03 // Кодекс: электрон. фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/439047200?ysclid=mggtgp6sd9f760290820> (дата обращения: 19.09.2025); Стратегия социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 года: утв. постановлением Правительства области от 17 октября 2016 г. № 920 (в ред. от 26.12.2024) // Минэкономразвития России. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/969cf0560f3d4db8cec1e76d64cf2529/strategia.pdf?ysclid=mggtgshrbv7793538541> (дата обращения: 19.09.2025); Стратегия социально-экономического развития Республики Коми на период до 2030 года: утв. постановлением Правительства Республики Коми от 11 апреля 2019 г. № 185 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/1100201904160001?ysclid=mggtgvm0gmu322578910&index=2> (дата обращения: 19.09.2025); Индивидуальная программа социально-экономического развития Псковской области на 2025–2030 годы: утв. распоряжением Правительства РФ от 13 декабря 2024 г. № 3731-п // Правительство России. URL: <http://government.ru/docs/all/156695/> (дата обращения: 19.09.2025).

**Типология кластеров**  
Table 7. Typology of clusters

Тип кластера	Описание	Состав
Кластер 0	Индустриально-энергетические регионы с высокой нагрузкой и выраженной производственной специализацией	Ленинградская, Мурманская и Архангельская области, Республика Коми
Кластер 1	Субъекты с умеренной энергоемкостью, ограниченным ресурсным потенциалом и социальной уязвимостью	Псковская, Новгородская и Калининградская области, Республика Карелия
Кластер 2	Урбанизированный высокодоходный центр с низкой энергоемкостью и высокой инфраструктурной зрелостью	Санкт-Петербург

Источник: составлено автором.

исчерпывающей характеристики межрегиональных различий. Для восполнения этого аналитического пробела использован кластерный анализ, позволяющий перейти от индивидуальных оценок к обобщенной типологизации регионов.

Кластеризация направлена на выявление устойчивых групп субъектов, обладающих схожими признаковыми профилями в пространстве многомерных энергетических, экологических, инвестиционных и социальных индикаторов. Главная цель кластерной модели — формирование объективной типологии субъектов по параметрам энергоемкости и потребления энергии, структуры ВРП и инвестиционной активности, уровня доходов населения, институциональной инфраструктуры, экологической нагрузки, ресурсного потенциала. Типологизация позволяет установить устойчивые группы регионов с общими характеристиками; повысить точность сценарного планирования и проектирования дифференцированных мер повышения энергоэффективности; структурировать архитектуру интегральной модели, в том числе путем агрегирования регионов по типу кластера; обосновать применимость кластерной типологии в качестве базиса для энергетической политики.

Для построения кластерной модели использованы усредненные в 2000–2023 гг. значения признаков для каждого субъекта РФ. Выбор признаков основан на результатах регрессионного анализа и предусматривает такие ключевые направления, как энергоемкость, уровень экономического развития, доходность, инвестиционная активность, занятость, инфраструктурное состояние и экологическая нагрузка.

Согласованное распределение регионов, формирующее три устойчивых кластера, представлено в таблице 7.

Обобщенный сравнительный анализ усредненных значений по ключевым переменным позволяет формализовать латентные особенности каждого из кластеров. Статистические различия между группами указывают на высокую степень гетерогенности по показателям, влияющим на энергетическую эффективность. В частности, удельное электропотребление варьируется от ~3 300 кВт·ч/чел. в Псковской области (кластер 1) до более 17 000 кВт·ч/чел. в Мурманской области (кластер 0); ВРП и среднедушевой доход обеспечивают интегральную оценку экономического развития, демонстрируя разрыв между Санкт-Петербургом (кластер 2) и большинством субъектов кластера 1; бюджетные ресурсы и инвестиции отражают фискальный потенциал, необходимый для модернизации энергетической инфраструктуры; экологическая нагрузка и ресурсообеспеченность представляют интерпретацию устойчивости энергосистем в экологическом аспекте.

Каждая из кластерных групп обладает собственной спецификой адаптивного поведения в энергетическом и инфраструктурном пространстве:

- кластер 0 (индустриально-нагруженные территории) характеризуется высоким уровнем производственной и энергетической активности, значительным вкладом в региональные и федеральные энергетические балансы. Однако экологические показатели фиксируют существенную нагрузку, требующую усиления природоохранных механизмов и устойчивого управления ресурсами;

- кластер 1 (низкоэнергетические и периферийные субъекты) демонстрирует устойчивую, но уязвимую конфигурацию. При сравнительно низкой энергоемкости и экологической нагрузке наблюдается дефицит инвестиционных и инфраструктурных

ресурсов. Этот тип регионов требует таргетированной политики поддержки;

– кластер 2 (Санкт-Петербург) — единственный субъект, системно выделяющийся в обоих алгоритмах. Его профиль (высокие значения ВРП, фактическое конечное потребление домашних хозяйств, крайне низкие — потребление электрической энергии на душу населения и выбросы загрязняющих веществ) позволяет рассматривать его как эталонную зону высокоэффективной урбанизированной модели. Тем не менее высокий уровень бюджетной нагрузки (доходы консолидированных бюджетов) при сохранении энергоэффективности требует постоянного совершенствования механизмов управления энергетическими потоками и устойчивости инфраструктуры.

Построенная модель кластеризации регионов на основе агрегированных энергетических, инвестиционных и экологических показателей представляет собой валидный инструмент анализа, способный выполнять классификационные и прогностико-управленческие функции. Кластерная принадлежность субъектов, определенная на базе стандартизированных данных за 2000–2023 гг., может быть использована при построении сценариев устойчивости энергосистем; в модели оценки рисков и уязвимости к внешним шокам; в региональной энергетической политике как инструмент территориальной сегментации и адресного регулирования. Полученные кластеры служат эмпирическим базисом экономической типологии субъектов РФ, отражая устойчивые конфигурации признаков, специфичных для региональных энергетических систем.

## Выводы

Предложенная интегрированная многоуровневая модель оценки энергоэффективности показывает масштабы и характер дифференциации субъектов по ее уровню. Сформированная методическая основа, обеспечивающая комплексный подход к анализу и оценке энергетической эффективности в региональных экономических системах, также учитывает уникальные социально-экономические и природные условия каждого региона.

Изложенный подход особенно актуален в условиях многообразия экономических структур и различий в обеспеченности энергоресурсами, которые наблюдаются среди

регионов. Инструментарий ориентирован на интеграцию факторов, определяющих состояние энергетической устойчивости, включая показатели энергоемкости, доступности ресурсов и энергообеспеченности. Территориально-дифференцированный подход, заложенный в основу моделирования, направлен на создание инструмента, способного обеспечить релевантность оценки энергетической ситуации в каждом регионе, что помогает при разработке целевых стратегий по улучшению энергоэффективности.

Таким образом, допустимо обосновать применимость экономико-статистического моделирования в диагностике и оценке уровня энергоэффективности регионов. Применение эконометрических и статистических методов позволяет анализировать динамику изменений в показателях энергоэффективности и выявлять факторы, влияющие на специфику энергопотребления в каждом регионе. Диагностический инструментарий, включающий в себя регрессионные и временные ряды, способствует оценке воздействия внешних экономических факторов, таких как инфляция, колебания цен на энергоресурсы и политические изменения, на устойчивость энергосистем регионов. Экономико-статистическое моделирование поддерживает возможность модернизации региональной энергетической политики, направленной на устойчивое развитие и экономическую независимость от внешних энергетических рынков.

Предложенные в работе подходы и методы имеют практическое значение для органов государственной власти и местного самоуправления, ответственных за разработку и реализацию программ по повышению энергоэффективности. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации процессов принятия решений в сфере энергосбережения, способствуя формированию сбалансированной региональной экономики.

Проведенное исследование подтверждает необходимость применения интегрированного подхода к анализу и оценке энергоэффективности, который сочетает экономико-математическое моделирование, системный анализ и территориально-дифференцированный подход, позволяя выработать стратегические меры. Последние помогают адаптироваться к изменяющимся условиям, обеспечивают долгосрочное социально-экономическое развитие регионов СЗФО и других регионов страны.

### Список источников

1. Description and evaluation of the MIT Earth System Model (MESM) / A. Sokolov, D. Kicklighter, A. Schlosser et al. // *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 2018. Vol. 10. No. 8. P. 1759–1789. <https://doi.org/10.1029/2018MS001277>
2. Manne A., Mendelsohn R., Richels R. MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies // *Energy Policy*. 1995. Vol. 23. No. 1. P. 17–34. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(95\)90763-W](https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)90763-W)
3. Тупчиенко В. А. Энергетика и климатические изменения: моделирование взаимосвязей // *Экономические стратегии*. 2022. Т. 24. № 5. С. 138–145. <https://doi.org/10.33917/es-5.185.2022.138-145>
4. Cao W., Wei X. Regional differences and catch-up analysis of energy efficiency in China's manufacturing industry under environmental constraints // *Energy Informatics*. 2024. Vol. 7. No. 1. Article 103. <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00408-1>
5. Костинбой А. С. Региональная энергетическая политика: основные виды и направления // *Российское предпринимательство*. 2016. Т. 17. № 6. С. 763–774. <https://doi.org/10.18334/rp.17.6.35048>
6. Дружинин П. В., Щербак А. П., Тишков С. В. Моделирование взаимосвязи экономики и энергетики на основе мультипликативных двухфакторных функций // *Проблемы прогнозирования*. 2018. № 3. С. 75–84.
7. Регионы России: социально-экономические показатели. 2023: стат. сб. М.: Росстат, 2024. 1081 с.

### References

1. Sokolov A., Kicklighter D., Schlosser A., et al. Description and evaluation of the MIT Earth System Model (MESM). *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 2018;10(8): 1759-1789. <https://doi.org/10.1029/2018MS001277>
2. Manne A., Mendelsohn R., Richels R. MERGE: A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies. *Energy Policy*. 1995;23(1):17-34. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(95\)90763-W](https://doi.org/10.1016/0301-4215(95)90763-W)
3. Tupchienko V.A. Energy and climate change: Modeling the relationship. *Ekonomicheskie strategii = Economic Strategies*. 2022;24(5):138-145. (In Russ.). <https://doi.org/10.33917/es-5.185.2022.138-145>
4. Cao W., Wei X. Regional differences and catch-up analysis of energy efficiency in China's manufacturing industry under environmental constraints. *Energy Informatics*. 2024;7(1):103. <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00408-1>
5. Kostinboy A.S. Regional energy policy: The basic types and directions. *Rossiiskoe predprinimatel'stvo = Russian Journal of Entrepreneurship*. 2016;17(6):763-774. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/rp.17.6.35048>
6. Druzhinin P.V., Shcherbak A.P., Tishkov S.V. Modeling the interdependence of the economy and power industry based on multiplicative two-factor functions. *Studies on Russian Economic Development*. 2018;29(3):280-287. <https://doi.org/10.1134/S1075700718030036> (In Russ.: *Problemy prognozirovaniya*. 2018;(3):75-84.).
7. Regions of Russia: Socio-economic indicators. 2023: Stat. coll. Moscow: Rosstat; 2024. 1081 p. (In Russ.).

#### Информация об авторе

**Влад Владиславович Занин**

аспирант

Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики

190020, Санкт-Петербург, Лермонтовский пр., д. 44а

Поступила в редакцию 22.09.2025  
 Прошла рецензирование 13.10.2025  
 Подписана в печать 28.10.2025

#### Information about the author

**Vlad V. Zanin**

postgraduate student

St. Petersburg University of Management Technologies and Economics

44A Lermontovskiy Ave., St. Petersburg 190020, Russia

Received 22.09.2025  
 Revised 13.10.2025  
 Accepted 28.10.2025

**Конфликт интересов:** автор декларирует отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Conflict of interest:** the author declares no conflict of interest related to the publication of this article.