

Научная статья

DOI: 10.34130/2070-4992-2025-5-4-365

УДК 338.27:330.42

**Сравнительная оценка перспективности возобновляемых источников энергии
для федеральных округов России****Сергей Львович Садов**

Институт социально-экономических и энергетических исследований

Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»,
Сыктывкар, Российская Федерация,
sadov@energy.komisc.ru

Аннотация. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) известны человечеству издавна, но современный энергетический переход значительно расширил сферу их применения. Этому способствовала климатическая повестка, тесно связанная с декарбонизацией энергетики. При этом география распространения ВИЭ далеко не однородна. Это относится и к России с её разнообразием природно-климатических условий. Поэтому целесообразно оценить перспективность использования ВИЭ для различных её территорий. Поскольку на нынешний энергопереход большое влияние имеет декарбонизация, важно опереться при этом на объективные факторы. Не все из последних имеют количественную оценку, многие можно оценить только качественно. В этой связи будет продуктивным использование метода анализа иерархий, разработанного Томасом Саати. Данный метод позволяет дать численную оценку такому понятию, как перспективность, используя самую разнообразную информацию. С одной стороны, будут показатели, имеющие точные значения, с другой — обладающие лишь вербальными характеристиками типа «больше — меньше». Будучи встроенными в общую иерархическую модель, они помогут исследователю дать объективную оценку перспективности ВИЭ для выбранных территорий.

По результатам расчётов выявлены лидеры — Дальневосточный, Южный и Северо-Кавказский округа. На данный выбор повлияли недостаточность традиционных источников энергии в этих округах, развитие экономики, продолжающийся процесс урбанизации, наличие крупных ресурсов ВИЭ. Особое место занимают районы Севера и Арктики, где благодаря низкой плотности населения велика роль локального энергоснабжения, и ВИЭ способны сделать его более экономичным и надёжным. Включение в дальнейшем в исследования ВИЭ, не учтённых в данной работе, позволит уточнить сферы применения возобновляемой энергетики в различных регионах нашей страны.

Ключевые слова: энергетический переход, возобновляемые источники энергии, федеральные округа, метод анализа иерархий

Благодарности. Статья подготовлена в ходе выполнения НИР «Научные основы исследования энергетического перехода на региональном уровне» по госзаданию № 124013000621-4.

Для цитирования: Садов С. Л. Сравнительная оценка перспективности возобновляемых источников энергии для федеральных округов России // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2025. Т. 5. Вып. 4. С. 365–375. <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2025-5-4-365>

Article**Comparative assessment of the renewable energy sources prospects
for the federal districts of the Russia****Sergey L. Sadov**

Institute of Socio-Economic and Energy Research of the Federal Research Center

«Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences»

Syktyvkar, Russian Federation, sadov@energy.komisc.ru

Abstract. Renewable energy sources (RES) have long been known to humanity, but the modern energy transition has significantly expanded their scope of application. This has been driven by the climate agenda, closely linked to the decar-

bonization of the energy sector. Moreover, the geography of RES deployment is far from uniform. This is especially true for Russia, with its diverse natural and climatic conditions. Therefore, it is advisable to assess the prospects for RES use in various regions. Since decarbonization has a significant impact on the current energy transition, it is important to rely on objective factors. Not all of these factors can be quantified; many can only be assessed qualitatively. In this regard, the use of the Analytical Hierarchy Process (AHP) developed by Thomas Saaty is productive. This method allows for a quantitative assessment of the concept of RES prospects using a wide variety of information. On the one hand, there are indicators with precise values, while on the other, there are only verbal characteristics such as "higher or lower." When integrated into a general hierarchical model, these factors help the researcher to objectively assess the prospects of RES for selected regions.

Based on the calculations, the Far Eastern, Southern, and North Caucasian districts emerged as leaders. This was facilitated by the scarcity of traditional energy sources in these districts, economic development, ongoing urbanization, and the availability of significant renewable energy resources. The Northern and Arctic regions hold a special place, where low population density makes local energy supply crucial, and renewable energy can make it more efficient and reliable. Including renewable energy sources not considered in this study in prospect studies will help clarify the scope of renewable energy using in various regions of the country.

Keywords: *energy transition, renewable energy sources, federal districts, analytical hierarchy process*

Acknowledgments. The article has been prepared in the framework «Scientific basis for studying energy transition at the regional level» of the state task, № 124013000621-4.

For citation: Sadov S. L. Comparative assessment of the renewable energy sources prospects for the federal districts of the Russia. *Korporativnoe upravlenie i innovacionnoe razvitie ekonomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravleniya i venchurnogo investirovaniya Syktyvkarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Corporate Governance and Innovative Development of the Economy of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University]. 2025. Vol. 5, issue 4. Pp. 365–375. (In Russ.) <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2025-5-4-365>

Введение

Все энергетические переходы, предшествующие нынешнему, происходили эволюционным путём по мере расширения энергобаланса за счёт доступных и экономически привлекательных энергоисточников и энергоресурсов. Современный же энергопереход имеет дополнительно идеологические корни (т. н. климатическая повестка), что делает его перспективы зависимыми от субъективных факторов и потому более неопределёнными. В данном исследовании упор сделан на объективные факторы перспективности ВИЭ.

В настоящее время возобновляемая энергетика носит вспомогательный характер. Как сообщил директор Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ) А. Жихарев, «по итогам 2025 года мы прогнозируем, что совокупная установленная мощность ВИЭ-генерации России, за исключением больших ГЭС, приблизится к 7,5 ГВт» [1]. Это на 15 % больше, чем в 2024 г., но составляет всего 2,8 % установленной мощности электростанций России. На 01.02.2025 г. совокупная установленная мощность ВИЭ в России составила 6,59 ГВт, в т. ч. на ветровые электростанции приходится 2,57 ГВт мощности, на солнечные — 2,56 ГВт, на малые ГЭС мощностью до 50 МВт — до 1,3 ГВт (в действующем в РФ ГОСТ Р 51238-98 «Нетрадиционная энергетика. Гидроэнергетика малая. Термины и определения» к малым ГЭС относятся гидроэлектростанции с установленной мощностью от 0,1 до 30 МВт, а менее мощные энергообъекты относятся к микроГЭС. С другой стороны, в рамках государственной программы поддержки возобновляемой энергетики рассматривались проекты ГЭС мощностью от 5 до 25 МВт, и позднее верхняя граница была увеличена до 50 МВт).

Методология исследования

Развитие возобновляемой энергетики в территориальном разрезе происходит неравномерно, и это вполне естественно — причинами тому служат различия в избытке (или дефиците) генерации, густоте сети населённых пунктов, климате, наличии энергоресурсов. Первоначально следует решить вопрос о крупности территорий, для которых будет оцениваться перспективность ВИЭ. Выбор субъектов федерации в качестве таких территорий следует признать неудачным по причинам того, что, с одной стороны, их слишком много, а с другой — существуют слишком большие различия в плане их обеспеченности энергоресурсами, а также площади, населения, природно-климатических условий. Поэтому выбор сделан

в пользу федеральных округов — восьми достаточно крупных территорий с менее контрастными характеристиками, чем отдельные регионы.

Методической основой для исследования выбран метод анализа иерархий (МАИ) [2] — универсальный, устойчивый в вычислительном плане и нетребовательный к исходной информации. Он позволяет на основе субъективных парных оценок значимости факторов, выстроенных соответствующим образом, получить итоговые величины значимости оцениваемых альтернатив (вариантов), которые выражаются в виде безразмерных величин. Метод анализа иерархий зарекомендовал себя как эффективное средство оценки экономических и любых иных показателей, которые не являются результатом точных замеров, а базируются на экспертных суждениях и выражаются в виде оценок качественного характера. Для назначения этих оценок используется 9-балльная шкала сравнений [2]. Например, для факторов А и В:

9 баллов означает, что фактор А по значимости абсолютно превосходит фактор В;

7 — что А явно важнее В;

5 — А значительно важнее В;

3 — А незначительно важнее В;

1 — А и В одинаково важны.

Чётные баллы 8, 6, 4 и 2 выражают промежуточные градации оценок.

МАИ помогает лицам, принимающим решения, найти среди возможных вариантов то, которое наилучшим образом соответствует цели и их пониманию проблемы. Он обеспечивает рациональную основу для структурирования решаемой задачи, для представления и количественной оценки её элементов, для соотнесения этих элементов с общими целями и для оценки альтернативных решений. Пользователи МАИ сначала декомпозируют свою задачу на иерархию более легко понимаемых подзадач, каждая из которых может быть проанализирована независимо. Элементы иерархии могут относиться к любому аспекту проблемы принятия решения — материальному или нематериальному, тщательно измеренному или приблизительно оцененному, хорошо или плохо понятому — ко всему, что применимо к решаемой задаче. После построения иерархии лица, принимающие решения, попарно оценивают её различные элементы с точки зрения их влияния на элемент, стоящий выше них в иерархии. При проведении таких сравнений можно использовать конкретные данные об элементах, а также свои суждения об относительном значении и их важности.

Таким образом, введение факторов даёт возможность заменить получение оценки, сформулированной в поставленной задаче и не поддающейся непосредственному решению, на совокупность оценок более очевидных и не вызывающих затруднений. Иными словами, исходная сложная задача представляется в виде композиции более простых задач. В МАИ исходная информация этих более простых подзадач трансформируется в решение исходной путём несложных вычислений.

Необходимым требованием при использовании МАИ является соблюдение транзитивности и хорошая согласованность исходных данных в матрицах парных сравнений. Если эти требования нарушаются (это особенно часто случается при работе группы экспертов), то следует воспользоваться приёмами, изложенными в работах Т. Саати по этим вопросам [3, 4]. Если же парные оценки даёт один эксперт, то, как показано [5], выполнение достаточно простой процедуры предварительного ранжирования позволяет избежать нарушения транзитивности и удержать показатели согласованности матриц с исходными данными в хороших пределах.

Для решения задачи определения перспективности ВИЭ для федеральных округов необходимо построить иерархическую модель (рис. 1). В ней три уровня — на нижнем находятся федеральные округа, для них должен быть оценён целевой показатель (верхний уровень иерархии). На среднем (выделенном фигурными скобками) находятся факторы, которые позволяют структурировать поставленную задачу и которые можно попарно оценивать для каждого округа.

Надо определиться с перечнем факторов (второй уровень иерархии), по которым и будет проводиться конечная оценка перспективности ВИЭ для федеральных округов. Число факторов не должно быть большим, чтобы не затруднять подготовку исходных данных и не выходить за пределы 9-балльной шкалы, используемой в МАИ [2].

Перспективность ВИЭ есть отражение, с одной стороны, потребности в них, а с другой — возможностей их использования, т. е. от ресурсного потенциала территорий. Поэтому среди факторов должны быть как общие характеристики территорий, важные для решаемой задачи (климат, плотность населения, уровень урбанизации), так и показатели энергетические (обеспеченность электроэнергией, основные ресурсы ВИЭ — солнечной, ветровой и гидроэнергии, наличие топливных ресурсов).

Таким образом, в модели участвуют восемь факторов. Далее следует подробнее остановиться на влиянии выбранных факторов и на том, как отразить значимость различных факторов для округов при моделировании. Важно отметить, что построенная модель является полной, т. е. все элементы высокого уровня связаны с каждым элементом следующего, более низкого уровня. На рис. 1 эти связи, чтобы не загромождать схему, символически представлены отдельными стрелочками, направленными вверх.

Конечно, возникает соблазн взять как можно больше факторов, чтобы точнее решить поставленную задачу. Так, для более полной характеристики сети населённых пунктов, для выявления их доли, нуждающейся в локальном энергоснабжении, хорошо было бы описать фактическое положение дел через расстояния между такими поселениями, число жителей в них, удалённость от линий централизованного энергоснабжения и некоторые другие. Но это перегрузило бы иерархическую модель, поэтому рациональнее взять за основу такой интегральный показатель, как плотность населения, и, попарно оценивая округа по этому показателю, не только ориентироваться на буквальные значения плотности населения округов, но и держать в уме все вышеприведённые обстоятельства. Это требует определённых знаний, но для экспертов эта трудность должна быть преодолима. Далее аспекты назначения парных оценок для фактора «Плотность населения» будут рассмотрены подробнее.

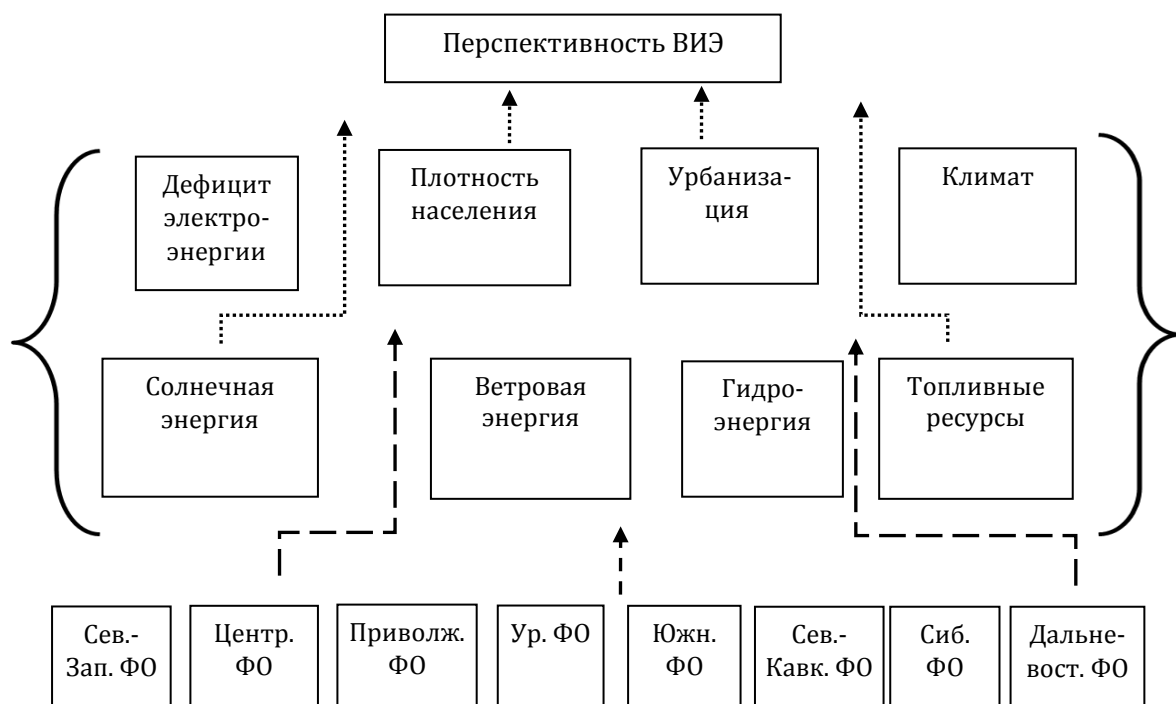


Рис. 1. Иерархия для решения задачи определения перспективности ВИЭ для федеральных округов РФ

Fig. 1. Hierarchy for solving the problem of the prospects determining of renewable energy sources for the federal districts of the Russian Federation

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author.

Благодаря информации из монографии [6] несложно выполнить парные оценки для ресурсов солнечной, ветровой и гидроэнергии. Здесь стоит отметить, что деление по федеральным округам проявило себя наиболее адекватным при моделировании обеспеченности данными энергоресурсами — деление по регионам было бы слишком мелким, дробным и обременительным в плане информационного наполнения. По нефти, газу и углю есть достаточно подробная информация [7], на основе которой также несложно провести парные оценки по округам для традиционных топливных ресурсов. Для фактора «климат» главное отразить или суровость климата, выражающуюся в большой продолжительности отопительного периода и низких температурах в его течении, или, наоборот, слишком высокую температуру воздуха в жаркий период, требующую расхода электроэнергии на кондиционирование помещений.

Перспективы развития возобновляемых источников энергии различаются в городских и сельских поселениях, поскольку зависят от множества факторов — образа и уровня жизни, наличия свободного пространства в поселениях, преобладающего типа экономической активности. У каждого типа поселений есть свои преимущества и ограничения. Получить парные оценки для фактора «Урбанизация» сложнее, чем для факторов ресурсного характера, поэтому на связи урбанизации с перспективностью ВИЭ следует остановиться подробнее. В материалах международного энергетического агентства [8] подробно рассматриваются аспекты эффективности ВИЭ. Среди прочих аспектов у городских поселений можно выделить следующие плюсы [9]:

- высокий спрос на электроэнергию в городах делает многие проекты с ВИЭ экономически выгодными за счёт эффекта масштаба;
- возможность установки солнечных панелей на крышах и стенах зданий, парковках, промышленных объектах — т. е. в местах, где расположение иных генерирующих мощностей нереально, или проблематично, или неэффективно;
- развитая энергетическая инфраструктура — в неё легче интегрировать ВИЭ;
- широкие возможности гибридных решений — сочетание устройств с солнечной или ветровой генерацией с накопителями энергии и smart grid;
- именно в городах наиболее многочисленны государственные и корпоративные программы поддержки проектов и инициатив развития ВИЭ.

С другой стороны, минусами для городских территорий будут [10, 11]:

- ограниченность свободных площадей для крупных ВИЭ-установок;
- высокая стоимость земли;
- плотная городская застройка, препятствующая успешной работе ветроустановок;
- затенение пространства соседними зданиями, снижающее эффективность солнечных панелей.

Для сельских территорий следует отметить следующие плюсы [10, 12]:

- наличие больших свободных площадей даёт возможность строить крупные солнечные и ветровые электростанции;
 - меньше препятствий для ветрогенерации — открытые пространства обеспечивают более стабильный ветровой поток;
 - наличие отходов сельского хозяйства и лесопереработки даёт широкие возможности развития биоэнергетики;
 - для удалённых населённых пунктов будут востребованы локальные энергосети, которые в данном случае имеют преимущество перед централизованным энергоснабжением;
 - для регионов с редкой сетью поселений во многих странах сельские ВИЭ-проекты получают дополнительную поддержку на государственном и региональном уровнях.
- Негативными же факторами при реализации проектов ВИЭ станут [10]:
- низкая плотность населения — она делает передачу энергии менее рентабельной;
 - меньший спрос на энергию по сравнению с городами;
 - более высокая, по сравнению с городами, потребность в накопителях из-за неравномерностей потребления электроэнергии.

С определённой долей условности можно сказать, что для реализации крупных проектов в солнечной, ветровой и биоэнергетике больше подходят сельские территории, а распределённая генерация в виде компактных СЭС и мини-ВЭС в составе умных сетей — города. В долгосрочной перспективе [13] наибольший эффект даст сочетание решений с ВИЭ для городских и сельских территорий, особенно с развитием накопителей и smart grid. Однако регионы, где процесс урбанизации ещё далеко не исчерпал свой потенциал, могут получить больше преимуществ при развитии ВИЭ, так как они позволяют обеспечить энергией удалённые территории без дорогостоящего подключения к централизованному электроснабжению. Это необходимо учитывать при оценке перспективности ВИЭ.

Если рассмотреть поселенческую проблематику с другой точки зрения — а именно в плане плотности населения, которая сама по себе способна оказывать влияние на выбор технологий ВИЭ и их экономику, — то после анализа, аналогичного предыдущему, можно сформулировать преимущества и недостатки территорий с редкой и густой сетью населённых пунктов. Так, при высокой плотности населения плюсами такой территории станут [14, 15]:

- высокий спрос на энергию, что делает проекты ВИЭ экономически более привлекательными;
- развитая инфраструктура (электросети, дороги, логистика) снизит затраты на интеграцию ВИЭ;

▪ упомянутая выше возможность использования крышных солнечных станций и малых ветроустановок в городах;

▪ поддержка "зелёных" инициатив со стороны населения и бизнеса.

Минусами таких территорий будут:

▪ дефицит свободных земель для крупных солнечных и ветропарков;

▪ высокие требования к экологической и шумовой безопасности;

▪ сложности с размещением из-за возможных протестов местных жителей, вызванных стеснёнными условиями проживания (т. н. NIMBY-эффект).

Низкая плотность населения влечёт такие положительные моменты, как [14, 15]:

▪ доступность больших территорий для строительства крупных ВИЭ-объектов (солнечных, ветровых и гидроэлектростанций);

▪ меньшее сопротивление со стороны местных жителей;

▪ возможность экспорта энергии в более населённые регионы с сопутствующими экономическими выгодами.

При этом будут иметь место и отрицательные следствия, например:

▪ высокие затраты на передачу энергии из-за слабой сетевой инфраструктуры;

▪ ограниченный локальный спрос на энергию;

▪ риски низкой окупаемости проектов ВИЭ из-за малого числа потребителей.

По итогам анализа можно наметить оптимальные технологические решения для регионов с разной плотностью населения, поскольку плотность населения влияет на выбор технологий ВИЭ и их экономическую конкурентоспособность. В густонаселённых регионах следует сделать акцент на распределённой генерации, а в малонаселённых — на крупных проектах с экспортом энергии. Учёт этих факторов позволит выбирать оптимальные направления инвестирования в возобновляемую энергетику. Так, для густонаселённых территорий подойдут солнечные панели на крышах зданий, малые ветроустановки, устройства выработки электроэнергии на биогазе. Для регионов с редкой сетью населённых пунктов наиболее приемлемы крупные солнечные и ветровые электростанции, гидроаккумулирующие ЭС, возможно, проекты производства водорода. Но для поставки выработанной энергии в более населённые районы потребуется развитие достаточно мощных накопителей энергии и линий электропередач. Средние по плотности населения регионы оптимальны для создания ветропарков, наземных солнечных ЭС и мини-ГЭС.

Подготовку исходных данных целесообразно продемонстрировать на конкретном примере фактора «плотность населения». В таблице 1 приведены его показатели для всех федеральных округов. Разброс здесь немалый — между лидером и аутсайдером разница примерно в 50 раз. Основное соображение при назначении парных оценок — чем меньше плотность населения на территории, тем больше поселений будут нуждаться в локальном энергообеспечении и тем более востребованными будут ВИЭ. Но, как указывалось ранее, это не единственное соображение, которое должно браться в расчёт при выставлении оценок округов по этому фактору. Важно также учесть фактическое положение дел с расстояниями между поселениями, для которых предпочтительно локальное энергоснабжение, числом жителей в них, продолжительностью отопительного периода, удалённостью от линий централизованного энергоснабжения и некоторыми другими характеристиками. Таким образом, каждая парная оценка приобретает интегральный характер и без основного приёма МАИ — декомпозиции исходной задачи на совокупность более простых — было бы невозможно охватить весь спектр требуемых к учёту характеристик. В МАИ оценочные экспертные суждения используются наряду с точно оценёнными величинами, что подводит под парные оценки более широкий фундамент, чем при использовании простого ранжирования по одному показателю.

Таблица 1

Плотность населения федеральных округов РФ на 2023 год, чел./км²

Table 1

Population density of the federal districts of the Russian Federation at 2023, people/km²

Федеральный округ	Плотность населения
1	2
Центральный	61,9
Северо-Кавказский	59,9
Южный	37,2
Приволжский	27,7
Северо-Западный	8,2

Окончание табл. 1
End of Table 1

1	2
Уральский	6,7
Сибирский	3,8
Дальневосточный	1,2

Источник: составлено автором по данным [7].

Source: compiled by the author according to [7].

Парные оценки по любому из факторов заносятся в квадратную матрицу размерности 8 x 8. В строках и столбцах перечислены округа в одном и том же порядке. Матрица обратносимметричная — это значит, что в ячейках, симметричных относительно главной диагонали, стоят обратные величины. На пересечениях строк и столбцов с одинаковыми номерами стоят единицы, что совершенно естественно при сравнении округа с самим собой. В итоге матрица выглядит следующим образом:

Федеральный округ	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й
1. Северо-Западный	1	1/6	1/3	2	1/4	1/5	3	4
2. Центральный	6	1	4	7	3	2	8	9
3. Приволжский	3	1/4	1	4	1/2	1/3	5	6
4. Уральский	1/2	1/7	1/4	1	1/5	1/6	2	3
5. Южный	4	1/3	2	5	1	1/2	6	7
6. Северо-Кавказский	5	1/2	3	6	2	1	7	8
7. Сибирский	1/3	1/8	1/5	1/2	1/6	1/7	1	2
8. Дальневосточный	1/4	1/9	1/6	1/3	1/7	1/8	1/2	1

Результаты исследования и их обсуждение

После формирования исходных данных с хорошей согласованностью в виде девяти обратносимметричных матриц размерности 8 x 8 и проведения расчётов по методу анализа иерархий получены следующие результаты (рис. 2). Поскольку исходной информацией являются балльные оценки, то и результирующий показатель имеет ту же природу.

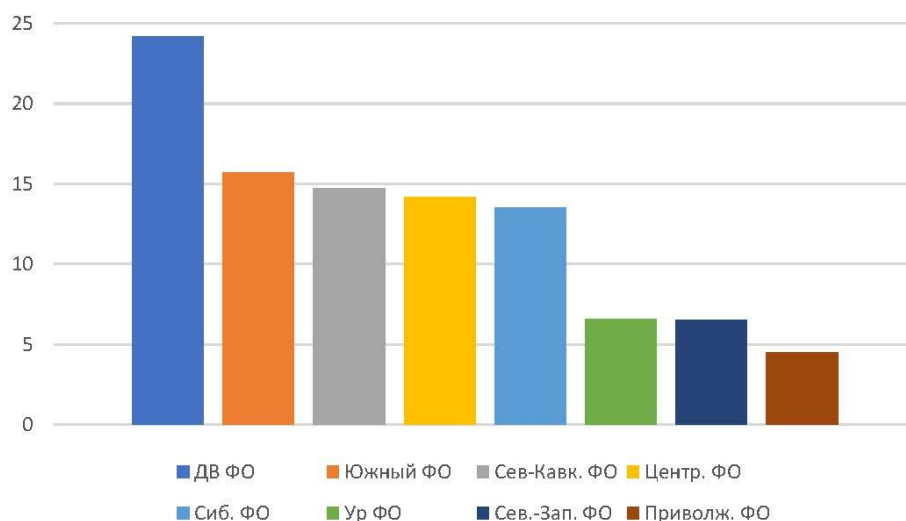


Рис. 2. Сравнительная значимость развития ВИЭ для федеральных округов РФ, баллы

Fig. 2. Comparative importance of renewable energy development for federal districts of the Russian Federation, points

Источник: составлено автором по результатам расчётов.

Source: compiled by the author based on calculations.

Явным лидером оказался Дальневосточный округ. И это при том что среди учитываемых факторов не было специфичных для него геотермальной энергии и энергии приливов. С их учётом его лидерство было бы ещё существеннее. В целом результат подтверждается ежегодными рейтингами регионов России в сфере возобновляемой энергетики, составляемыми АРВЭ, хотя в них отмечаются большие изменения от года к году. Так, лидерами рейтинга ВИЭ по итогам 2023 г. признаны Камчатский край, Сахалинская область и Республика Саха (Якутия) [16], а в 2024 г. — Ростовская область, Ставропольский край и Волгоградская область [17]. Вообще, в 2023 г. девять регионов ДВФО расположились в верхней части рейтинга, занимая с 1-го по 11-е место. Возможно, от года к году менялись критерии оценок в данном рейтинге или ситуация с реализацией проектов развития ВИЭ сильно варьирует по годам. Поэтому результат, полученный по методу МАИ, предпочтительнее, поскольку он опирается на объективные факторы и долгосрочные тенденции.

ДВФО получил первое место по причинам востребованности ВЭИ из-за общего дефицита электроэнергии, скромных возможностей его ликвидации традиционными энергоисточниками и большого потенциала ресурсов ВИЭ. Если сюда отнести и возможности использования геотермальной и приливной энергии, которые по своей сути тоже являются возобновляемыми, то перспективность и необходимость развития ВИЭ будет несомненной. В 2025 г. намечены к реализации в 2027–2028 гг. проекты использования ветровой энергии суммарной мощностью 230 МВт в Хабаровском крае и Амурской области и солнечной энергии суммарной мощностью 1044 МВт в Амурской области и в Еврейской автономной области [18].

На севере округа также строятся объекты ВИЭ. Они имеют небольшую мощность и предназначены для работы в паре с дизельной или угольной генерацией для целей локального энергоснабжения. Это позволяет экономить дорогостоящее по причине сложной логистики топливо. Среди таких ЭС есть, к примеру, самая северная в России солнечная ЭС в посёлке Батагай (находится за Полярным кругом). Здесь уместно заметить, что связка «дизельное топливо / уголь + ВИЭ» свойственна всему Российскому Северу, располагающемуся на территории четырёх округов. Крупные городские поселения на севере Северо-Западного ФО и Уральского ФО обеспечиваются энергией из традиционных источников, что отнюдь не исключает использования ВИЭ, когда это будет целесообразно и экономически обоснованно.

Ситуация с ВИЭ в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах схожа. Причинами этого является сходство самих округов по природно-климатическим условиям, по характеристикам населения, по ситуации с энергообеспечением и по ресурсам возобновляемой энергетики. Поэтому в планах развития ВИЭ они рассматриваются вместе. По результатам расчётов по модели эти два округа получили более 30 баллов — больше, чем ДВФО. На их территории уже построены несколько десятков солнечных электростанций большей частью мощностью 15–25 МВт.

Но есть и крупнейшие в России солнечные электростанции — «Старомарьевская» на Ставрополье (100 МВт), «Аршанская» в Калмыкии (115,6 МВт) и «Перово» в Крыму (105,6 МВт) [19]. И развивать возобновляемую энергетику планируется активно — в этих двух федеральных округах до 2030 года намечено ввести более 2,5 ГВт мощностей возобновляемой энергетики [20].

Велика доля энергии, вырабатываемой на ВИЭ — в Ставропольском крае её доля в общем объёме мощности региона составляла 17 % в 2024 г. (прогноз на 2030 г. — 18 %), в Ростовской области — 8 % (12,5 %), в Краснодарском крае — 4 % (8 %). В этих регионах-лидерах выработку ВИЭ уже нельзя назвать незначительной частью энергоснабжения, и в них, особенно в Ставропольском крае, уже могут проявляться негативные особенности солнечной и ветровой генерации — нестабильность и низкая предсказуемость, поэтому в крае её рост ожидаемо замедлился.

Другие округа в достаточной мере снабжаются традиционными энергоресурсами своих или сторонних территорий. Основу электроэнергетики составляют мощные ТЭС, ГЭС и АЭС, дополняемые ТЭЦ. В северной части Северо-Западного, Уральского и Сибирского округов велика роль локальных систем энергоснабжения, где у ВИЭ есть своя ниша, в рамках которой они уже частично замещают дорогостоящую угольную и дизельную генерацию [21] и будут наращивать свой вес в энергообеспечении слабозаселённых территорий.

Заключение

На основе метода анализа иерархий построена модель определения перспективности ВИЭ для федеральных округов РФ в условиях повышенной неопределённости современного энергоперехода. Она включает восемь факторов, характеризующих энергетическую базу территорий, и наиболее существен-

ные для решаемой задачи показатели. Расчёты по модели показали, что для Дальневосточного округа и Юга России ВИЭ способны сыграть весьма существенную роль в энергообеспечении, а наименее важными они являются для Приволжского, Северо-Западного и Уральского округов. Особенно важную роль ВИЭ способны сыграть в улучшении локального энергоснабжения на северных территориях РФ, снижении его затратности.

В плане перспектив ВИЭ, помимо использованных в исследовании, следует признать полезным развитие геотермальных и приливных электростанций, а также источников энергии на биотопливе. Мощными накопителями электроэнергии, помогающими сглаживать неравномерность электропотребления, являются гидроаккумулирующие электростанции. Их развитие будет способствовать повышению экономических характеристик применения ВИЭ и способствовать расширению сферы их применения. Последние обстоятельства нуждаются в дополнительных исследованиях.

Список источников

1. АРВЭ: мощность ВИЭ-электростанций в РФ в 2025 году может вырасти на 15 %. URL: <https://nia-rf.ru/news/economy/111060> (дата обращения: 03.09.2025).
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
3. Saaty, Thomas L. Mathematical Principles of Decision Making: Comprehensive coverage of the AHP, its successor the ANP, and further developments of their underlying concepts. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2009. 519 p.
4. Saaty, Thomas L. On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons // Notices of the American Mathematical Society. 2013. 60 (2). Pp. 192–208. DOI: 10.1090/noti944.
5. Sadov S. L. Finding the potential contribution of the fuel and energy sectors to increase the energy efficiency of the economy // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2019. № 4. С. 92–98. DOI: 10.34130/2070-4992-2019-4-92-98.
6. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П. П. Безруких, Ю. Д. Арбузов, Г. А. Борисов и др. СПб.: Наука, 2002. 314 с.
7. Макарецва Л. В. Федеральные округа Российской Федерации: учебно-методическое пособие. Саратов: Изд-во Саратовского нац. исследовательского гос. университета им. Н. Г. Чернышевского, 2016. 68 с.
8. IEA Report «Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028» [Электронный ресурс]. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf (дата обращения: 16.09.2025).
9. IEA Reports "World Energy Outlook 2024" [Электронный ресурс]. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf> (дата обращения: 18.09.2025).
10. Seto K. C. et al. (2014). "Human settlements, infrastructure and spatial planning" — Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 12. Cambridge University Press. URL: https://www.researchgate.net/publication/275035277_Human_Settlements_Infrastructure_and_Spatial_Planning (дата обращения: 10.09.2025).
11. Kennedy C. et al. Energy and material flows of megacities // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2015. No 112 (19). Pp. 5985–5990. DOI: 10.1073/pnas.1504315112.
12. Byrne J. et al. A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with a case study for the City of Seoul // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. No 41. Pp. 830–844. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.023.
13. Wiginton L. K. et al. Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy // Computers, Environment and Urban Systems. 2010. No 34. Pp. 345–357. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001.
14. Мохова А. А., Зекин В. Н. Возобновляемые источники энергии при строительстве домов в сельской местности // Вестник науки. 2021. Т. 3. № 3 (36). С. 113–121. URL: <https://www.vestnik-nauki.pf/article/4286> (дата обращения: 03.09.2025).
15. IRENA Report "Renewable Energy in Cities" URL: https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resources/IRENA_Renewable_Energy_in_Cities_2016.pdf (дата обращения: 11.09.2025).
16. АРВЭ огласила итоги комплексного инвестиционного рейтинга. URL: <https://www.eprussia.ru/news/base/2024/2241576.htm?ysclid=mh4qbu7420347083742> (дата обращения: 15.09.2025).
17. Регионы: рейтинг 2025. URL: <https://rreda.ru/ratings/results/2025/> (дата обращения: 15.09.2025).
18. Росатом, Хевел и Форвард Энерго реализуют ВИЭ-проекты мощностью 1,5 ГВт на Дальнем Востоке. URL: <https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/895806-rosatom-khevel-i-forvard-energo-realizuyut-vie-proekty-moshchnost-1-5-gvt-na-dalnem-vostoke/> (дата обращения 17.09.2025).
19. Энергетика солнца, ветра и воды бурно растет: почему 70 % зеленой энергии России производится на Юге. URL: <https://expertsouth.ru/articles/energetika-solntsa-vetra-i-vody-burno-rastet-pochemu-70-zelenoy-energii-rossii>

proizvoditsya-na-yuge/?utm_source=rreda&utm_medium=redirect&utm_campaign=link&utm_content=news&utm_term=quote (дата обращения: 17.10.2025).

20. В ЮФО и СКФО к 2030 году введут более 2,5 ГВт мощностей возобновляемой энергетики. URL: <https://expertsouth.ru/news/v-yufo-i-skfo-k-2030-godu-vvedut-bolee-25-gvt-moshchnostey-vozobnovlyаемой-energetiki/?ysclid=mhen25nipo677705858> (дата обращения: 17.10.2025).

21. Чайка Л. В. Традиционная и новая малая энергетика в северных регионах России // Север и рынок. 2021. № 1. С. 13–25.

References

1. ARVE: *moshchnost' VIE-elektrostantsij v RF v 2025 godu mozhet vyrasti na 15 %* [Renewable Energy Development Association: the capacity of renewable energy power plants in Russia may increase by 15 % in 2025]. Available at: <https://nia-rf.ru/news/economy/111060> (accessed: 03.09.2025). (In Russ.)
2. Saaty T. *Prinjatие reshenij. Metod analiza ierarhij* [Decision making. Analytic Hierarchy Process]. Moscow: Radio and communications, 1993. 278 p. (In Russ.)
3. Saaty, Thomas L. *Mathematical Principles of Decision Making: Comprehensive coverage of the AHP, its successor the ANP, and further developments of their underlying concepts*. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2009. 519 p.
4. Saaty, Thomas L. On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons. *Notices of the American Mathematical Society* 2013. 60 (2). Pp. 192–208. DOI: 10.1090/noti944.
5. Sadov S. L. Finding the potential contribution of the fuel and energy sectors to increase the energy efficiency of the economy. *Korporativnoe upravlenie I innovacionnoe razvitie e'konomiki Severa: Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo centra korporativnogo prava, upravleniya I venchurnogo investirovaniya Sy'kty'vskarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Corporate Governance and Innovative Economic Development of the North. Bulletin of Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktывkar State University]. 2019. No 4. Pp. 92–98. DOI: 10.34130/2070-4992-2019-4-92-98. (In Russ.)
6. Bezrukih P. P., Arbuzov Ju. D., Borisov G. A. et al. *Resursy i jeffektivnost' ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии v Rossii* [Resources and efficiency of renewable energy sources in Russia]. SPb: Nauka, 2002. 314 p. (In Russ.)
7. Makarceva L. V. *Federal'nye okrugа Rossijskoj Federacii : uchebno-metodicheskoe posobie* [Federal districts of the Russian Federation : teaching aid]. Saratov: Publishing and trading of the Saratov National Research State University, 2016. 68 p. (In Russ.)
8. *IEA Report: Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf (accessed: 19.01.2022).
9. *IEA Reports: World Energy Outlook 2024*. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf> (accessed: 18.09.2025).
10. Seto K. C. et al. (2014). *Human settlements, infrastructure and spatial planning — Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 12*. Cambridge University Press. Available at: https://www.researchgate.net/publication/275035277_Human_Settlements_Infrastructure_and_Spatial_Planning (accessed: 10.09.2025).
11. Kennedy C. et al. Energy and material flows of megacities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. No 112 (19). Pp. 5985–5990. DOI: 10.1073/pnas.1504315112.
12. Byrne J. et al. A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with a case study for the City of Seoul. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. No 41. Pp. 830–844. DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.023.
13. Wiginton L. K. et al. Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2010. No 34. Pp. 345–357. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001.
14. Mohova A. A., Zekin V. N. *Vozobnovljaemye istochniki jenerгии pri stroitel'stve domov v sel'skoj mestnosti* [Renewable energy sources in the construction of houses in rural areas]. Available at: <https://www.вестник-науки.рф/article/4286> (accessed: 03.09.2025). (In Russ.)
15. *IRENA Report: Renewable Energy in Cities*. Available at: https://smartnet.niua.org/sites/default/files/resources/IRENA_Renewable_Energy_in_Cities_2016.pdf (accessed: 11.09.2025).
16. ARVE *oglasila itogi kompleksnogo investitsionnogo rejtinga* [Renewable Energy Development Association announced the results of the comprehensive investment rating]. Available at: <https://www.eprussia.ru/news/base/2024/2241576.htm?ysclid=mh4qbu7420347083742> (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
17. *Regiony: rejting 2025* [Regions: 2025 rating]. Available at: <https://rreda.ru/ratings/results/2025/> (accessed: 15.09.2025). (In Russ.)
18. Rosatom, Khevel i Forvard Energo realizuyut VIE-proekty moshchnost'yu 1,5 GVt na Dal'nem Vostoke [Rosatom, Hevel and Forward Energo are implementing renewable energy projects with a capacity of 1.5 GW in the Far East]. Available at: <https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/895806-rosatom-khevel-i-forward-energo-realizuyut-vie-proekty-moshchnost-1-5-gvt-na-dalnem-vostoke/> (accessed: 17.09.2025). (In Russ.)

19. *Energetika solntsa, vetra i vody burno rastet: pochemu 70% zelenoj energii Rossii proizvoditsya na Yuge* [Solar, wind and hydroelectric energy is growing rapidly: why 70% of Russia's green energy is produced in the South]. Available at: https://expertsouth.ru/articles/energetika-solntsa-vetra-i-vody-burno-rastet-pochemu-70-zelenoy-energii-rossii-proizvoditsya-na-yuge/?utm_source=rreda&utm_medium=redirect&utm_campaign=link&utm_content=news&utm_term=quote (accessed: 17.10.2025). (In Russ.)

20. *V YuFO i SKFO k 2030 godu vvedut bolee 2,5 GVt moshchnostej vozobnovlyajemyj energetiki* [The Southern and North Caucasian Federal Districts will introduce more than 2.5 GW of renewable energy capacity by 2030]. Available at: <https://expertsouth.ru/news/v-yufo-i-skfo-k-2030-godu-vvedut-bolee-25-gvt-moshchnostey-vozobnovlyajemyj-energetiki/?ysclid=mhen25nipo677705858> (accessed: 17.10.2025). (In Russ.)

21. Chajka L. V. Traditional and new small-scale energy in the northern regions of Russia. *Sever i rynok* [North and the market]. 2021. No 1. Pp. 13–25. (In Russ.)

Информация об авторе

Садов Сергей Львович, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник Института социально-экономических и энергетических исследований Федерального исследовательского центра «Кomi научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Российская Федерация, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 26)

Information about the author

Sergei L. Sadov, Doctor of Economics, leading research fellow of the Institute of Socio-Economic and Energy Research of the Federal Research Center «Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences» (26, Kommunisticheskaja St., Syktyvkar, 167982, Russian Federation)

Статья поступила в редакцию: 18.11.2025

Одобрена после рецензирования: 21.11.2025

Принята к публикации: 27.11.2025

The article was submitted: 18.11.2025

Approved after reviewing: 21.11.2025

Accepted for publication: 27.11.2025