

Комплексная технико-экономическая оценка конкурирующих возобновляемых источников и перспектив развития зеленой энергии во Вьетнаме

Нгуен Минь Фьонг

Аспирант

ORCID: 0000-0003-1162-6466, e-mail: s233149@stud.spmi.ru

Пономаренко Татьяна Владимировна

Д-р экон. наук, проф. каф. организации и управления

ORCID: 0000-0001-5047-2880, e-mail: ponomarenko_tv@pers.spmi.ru

Нгуен Ван Тхань

Аспирант

ORCID: 0009-0003-8870-9267, e-mail: nguyen.vanthanh@mail.ru

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
199106, 21-я линия Васильевского острова, 2–4/45, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Анализ потенциала возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) во Вьетнаме показал, что энергетический баланс в условиях энергоперехода может трансформироваться и включать солнечную, ветро-, гидрогенерацию, а также производство энергии на биомассе. Целью настоящего исследования является разработка методического подхода к комплексной технико-экономической оценке ВИЭ с учетом их конкуренции и обоснование перспектив развития низкоуглеродной энергетики во Вьетнаме. Предметом исследования выступают различные технические, экономические, социальные и экологические параметры ВИЭ. Разработана методика комплексной технико-экономической оценки ВИЭ, включая сбор и анализ статистических данных, анализ базовых технологий, метод иерархии для целей прогнозирования структуры энергетического баланса. Установлено, что по техническим характеристикам наиболее зрелыми и эффективными являются малые гидроэлектростанции и генерация на основе биомассы, по экономическим показателям наименее затратным и наиболее эффективным видом выступает солнечная генерация, по социальным критериям все виды ВИЭ являются сопоставимыми и поддерживаются общественностью, по экологическим критериям существенно проигрывает производство энергии на биомассе, при этом остальные виды генерации сопоставимы. Полученные результаты исследования показали роль ВИЭ в энергетической стратегии Вьетнама и приоритеты в их развитии с точки зрения конкурентоспособности различных видов ВИЭ. Результаты исследования могут быть использованы для планирования структуры энергетического баланса и выбора мер государственной поддержки энергетического сектора.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, энергетический переход, иерархический анализ, устойчивое развитие, технико-экономический анализ, технические, экономические, экологические, социальные критерии

Для цитирования: Нгуен М.Ф., Пономаренко Т.В., Нгуен В.Т. Комплексная технико-экономическая оценка конкурирующих возобновляемых источников и перспектив развития зеленой энергии во Вьетнаме//Управление. 2025. Т. 13. № 4. С. 26–39. DOI: 10.26425/2309-3633-2025-13-4-26-39



Comprehensive technical and economic assessment of competing renewable sources and prospects for green energy development in Vietnam

Minh P. Nguyen

Postgraduate Student

ORCID: 0000-0003-1162-6466, e-mail: s233149@stud.spmi.ru

Tatiana V. Ponomarenko

Dr. Sci. (Econ.), Prof. at the Organization and Management Department

ORCID: 0000-0001-5047-2880, e-mail: ponomarenko_tv@pers.spmi.ru

Van Th. Nguyen

Postgraduate Student

ORCID: 0009-0003-8870-9267, e-mail: nguyen.vanthanh@mail.ru

Saint Petersburg Mining University, 2–4/45, 21st Line of the Vasilievsky Island, St. Petersburg 199106, Russia

Abstract

An analysis of the renewable energy sources potential in Vietnam has shown that the energy balance in the context of energy transition can be transformed and include solar, wind, hydrogenation, as well as biomass energy production. The purpose of the study is to develop a methodological approach to a comprehensive feasibility study of renewable energy sources, considering their competition, and substantiate the prospects for developing low-carbon energy in Vietnam. The subject of the study is various technical, economic, social, and environmental parameters of renewable energy sources. A methodology has been developed for a comprehensive feasibility study of renewable energy sources, including the statistical data collection and analysis, basic technologies analysis, and the hierarchy method for predicting the energy balance structure. It has been established that, according to the technical characteristics, small hydroelectric power plants and biomass-based generation are the most mature and efficient, solar generation is the least expensive and most effective type according to economic indicators, all types of renewable energy are comparable and supported by the public according to environmental criteria, and biomass energy production significantly loses, while other types of generation are comparable. The study results showed the role of renewable energy sources in Vietnam's energy strategy and priorities in their development in terms of the competitiveness of various types of renewable energy sources. The study results can be used to plan the energy balance structure and select government support measures for the energy sector.

Keywords: renewable energy, energy transition, hierarchical analysis, sustainable development, technical and economic analysis, technical, economic, environmental, and social criteria

For citation: Nguyen M.P., Ponomarenko T.V., Nguyen V.T. (2025). Comprehensive technical and economic assessment of competing renewable sources and prospects for green energy development in Vietnam. *Upravlenie / Management (Russia)*, 13 (4), pp. 26–39. DOI: 10.26425/2309-3633-2025-13-4-26-39



Введение / Introduction

Во Вьетнаме отмечается быстрый экономический рост (валовой внутренний продукт Вьетнама в 2022 г. увеличился на 8 %, в 2023 г. – на 5,5 %, в 2024 г. – на 6,5 %), что приводит к увеличению спроса на энергию (77,8 тыс. МВт в 2022 г., 80,56 тыс. МВт – в 2023 г., 82,4 тыс. МВт – в 2024 г., среднегодовой темп прироста – 3,1 %)¹. В структуре энергобаланса Вьетнама в 2023 г. суммарная доля возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ) составила 42,5 %, в том числе гидроэлектростанции (далее – ГЭС) – 24,95 %, солнечная энергия – 9,1 %, малые ГЭС – 4,35 %, энергия ветра – 4,1 %, биомасса – 0,3 % [Nguyen, 2024]. Объем электроэнергии, поставляемой гидроэлектростанциями, занимает второе место после поставок угля в период с 2000 г. по 2024 г., мощность ГЭС составляет 400–2,4 тыс. МВт. На малые гидроэлектростанции (далее – МГЭС) приходится около 15 % от общей мощности гидроэнергетики, их мощность составляет 1–10 МВт².

Вьетнам имеет значительный потенциал для развития многих источников «зеленой» энергии, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергетика и биомасса, что определяет необходимость детального анализа конкурентоспособности источников ВИЭ³. В период с 2017 г. по 2024 г. было завершено несколько проектов солнечной энергетики, включая пять крупнейших мощностью 330–830 МВт [Nguyen, 2024]. Ветроэнергетика также набирает популярность, особенно в контексте растущего спроса на энергию и требований по защите окружающей среды, мощность ветровых электростанций составляет 150–600 МВт [Lindberg, 2022; Chu et al., 2024]. Проекты по переработке биомассы имеют мощность 30–95 МВт и работают на разнообразном сырье биогенного происхождения, включая отходы сельского хозяйства (рисовая шелуха, кукурузные стебли, сахарный тростник), древесные отходы, а также отходы животноводства и бытовые органические отходы [Sasges, Ziegler, 2023; Нгуен, 2023].

По данным Международного энергетического агентства (IEA) в отчете «Возобновляемые источники энергии 2023 – Анализ», Вьетнам занимает 4-е место в Азии по установленной мощности ВИЭ, достигнув 27,5 ГВт к концу 2023 г. (рост на 38 % по сравнению с 2022 г.). Доля ВИЭ в общем энергобалансе страны составила около 40 % в 2023 г., что позволило ей войти в глобальный топ-20 по этому показателю. Повышение

энергетической безопасности на 25–30 % связано со снижением зависимости от импорта ископаемого топлива (Вьетнам импортирует около 60 % нефти и газа)⁴. Развитие ВИЭ укрепляет геополитическую позицию Вьетнама в региональных цепочках поставок, минимизируя риски внешних шоков и способствуя устойчивому росту в условиях экономического подъема. Выбор и экономическое обоснование источников ВИЭ в энергобалансе Вьетнама позволит увеличить долю «зеленой» энергии, улучшить структуру энергобаланса, а также укрепить положение страны среди стран-лидеров энергоперехода.

Цель настоящего исследования – выполнить экономическую оценку конкурирующих источников и перспектив развития ВИЭ в условиях Вьетнама.

Задачи исследования:

- сравнить технологии и источники ВИЭ по техническим, экономическим, социальным и экологическим критериям;
- выполнить анализ перспектив развития секторов ВИЭ во Вьетнаме с применением метода анализа иерархического процесса (АИП).

Проведены сбор и анализ статистических данных Главного статистического управления Вьетнама по источникам ВИЭ за 2000–2024 гг., документов государственного планирования, отчетов Vietnam Electricity Group (EVN) за 2023–2024 гг., других предприятий электроэнергетической отрасли. Методы включают статистический анализ, технико-экономический анализ, метод анализа иерархий.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- выбраны критерии и выполнено сравнение технологий и источников ВИЭ по техническим, экономическим, социальным и экологическим критериям во Вьетнаме, на основе которых сделаны выводы о лидирующих позициях по техническим показателям гидрогенерации и генерации на основе биомассы, по экономическим – солнечной генерации, о сопоставимости технологий по социальным параметрам, а также их сопоставимости по экологическим показателям, за исключением генерации из биомассы;
- применение анализа иерархического процесса к источникам ВИЭ во Вьетнаме позволило сделать выводы о необходимости их сбалансированного развития со следующими приоритетами: солнечная генерация, малые ГЭС, ветрогенерация и биомасса.

¹ International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (дата обращения: 29.09.2025).

² Там же.

³ International Renewable Energy Agency. World Energy Transitions Outlook 2024. Режим доступа: <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024> (дата обращения: 29.09.2025).

⁴ Vietnam's Ministry of Industry and Trade. Vietnam Energy Outlook Report 2024. Режим доступа: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/1_eor-nz_english_june2024_0.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

Результаты исследования / Study results

Потенциал использования ВИЭ во Вьетнаме и мощности ВИЭ обобщены и показаны на рис. 1.

Возобновляемые источники энергии во Вьетнаме представляют большой интерес для частных инвесторов и правительства из-за их эксплуатационного потенциала, конкурентоспособности, прибыльности и преимуществ устойчивого развития. Однако при выборе инвестиций в эксплуатацию ВИЭ необходимо выбирать различные типы эксплуатации в зависимости от условий, подходящих для конкретного случая.

⁵ Vietnam's Ministry of Industry and Trade. Vietnam Energy Outlook Report 2024. Режим доступа: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/1_eor-nz_english_june2024_0.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

⁶ Ember Energy Research CIC. Vietnam, 2025. Режим доступа: <https://ember-energy.org/countries-and-regions/viet-nam/> (дата обращения: 29.09.2025).

⁷ Vietnam Energy Association. Analysis of Vietnam's target of 150,000 MW of renewable energy by 2035. Режим доступа: <https://nangluongvietnam.vn/phan-tich-ve-muc-tieu-150-nghin-mw-nang-luong-tai-cao-cua-vietnam-den-nam-2035-34407.html> (дата обращения: 29.09.2025).

⁸ Vietnam – Asia's future clean energy 'factory'. Режим доступа: <https://www.evn.com.vn/d/vi-VN/news/Viet-Nam-nha-may-nang-luong-sach-tuong-lai-cua-chau-A-60-17-501615> (дата обращения: 29.09.2025).

⁹ Ministry of Information and Communications of Vietnam. New generation solar cells can generate electricity even in weak sunlight, 2025. Режим доступа: <https://vietnamnet.vn/loi-pin-mat-troi-the-he-moi-co-the-tao-ra-dien-du-nang-yeu-2414483.html> (дата обращения: 29.09.2025).

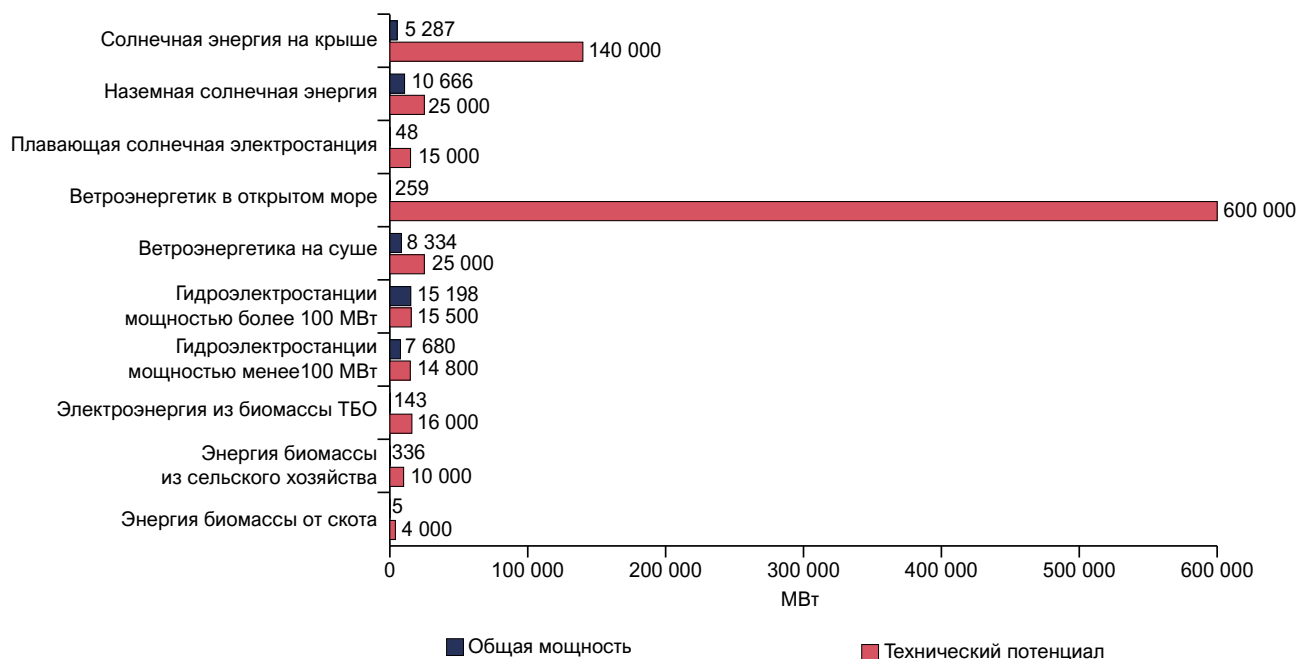
Солнечная энергия / Solar energy

Технология солнечных панелей стремительно развивается с увеличением мощности с 1 тыс. МВт в 2017 г. до 16 тыс. МВт к концу 2023 г. Инвестиционные затраты на солнечную энергию снизились примерно на 80 % (с примерно 3,5 долл. США/Вт до примерно 0,9 долл. США/Вт) с 2013 г. по 2023 г.¹⁰ Это связано с развитием технологий, структура которых представлена на рис. 2.

Инвесторы отдают предпочтение технологии Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) около 8,6 тыс. МВт, поскольку PERC имеет хорошую эффективность преобразования энергии, подходит для удовлетворения растущего спроса на энергию во Вьетнаме, имеет приемлемую стоимость, может хорошо работать в жарком и влажном климате Вьетнама [Tran, Le, Nguyen, 2024; Chu et al., 2024].

Технология Tunnel Oxide Passivated Contact (TOPCon) с производственной мощностью около 4,36 тыс. МВт в солнечной энергетике обеспечивает более высокую эффективность, чем PERC, благодаря лучшему улавливанию солнечного излучения и снижению потерь энергии [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023]. Кроме того, TOPCon ячейки обладают высокой надежностью и сроками полезного использования, что делает их идеальными для новых проектов во Вьетнаме,

¹⁰ Vietnam Energy Outlook Report 2024 launched. Режим доступа: <https://en.evn.com.vn/d6/news/Vietnam-Energy-Outlook-Report-2024-launched-66-163-4167.aspx> (дата обращения: 29.09.2025).



Составлено авторами по материалам источников [Hoang, 2024; Nguyen, Le, 2024]^{5,6,7,8,9} / Compiled by the authors on the materials of the sources [Hoang, 2024; Nguyen, Le, 2024]^{5,6,7,8,9}

Рис. 1. Общий технический потенциал и общая используемая мощность основных ВИЭ во Вьетнаме в 2023 г.

Fig. 1. Total technical potential and total used capacity of the main renewable energy sources in Vietnam in 2023

где спрос на возобновляемую энергию продолжает расти [Nguyen, 2020; Пашкевич, Данилов, 2023].

Технология гетероструктур (англ. Heterojunction Technology, HJT) с текущей производственной мощностью около 1,84 тыс. МВт требует значительных первоначальных инвестиций ввиду сложности производственного процесса [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023]. Тем не менее она обеспечивает высокий коэффициент преобразования энергии и низкое энергопотребление на этапе изготовления за счет использования структуры, сочетающей аморфный и кристаллический кремний. Особое преимущество HJT заключается в стабильной работе при низкой освещенности и повышенных температурах, что соответствует климатическим условиям Вьетнама и способствует оптимизации эффективности солнечных систем [Васильев, Стройков, 2020].

Технология Interdigitated Back Contact (BC) с производственной мощностью около 400 МВт характеризуется высокой эффективностью преобразования благодаря конструкции с чередующимися задними электродами, что минимизирует затенение и увеличивает площадь

сбора солнечного излучения [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023]. Несмотря на высокую стоимость производства, данная технология находит применение преимущественно в маломасштабных проектах, например, в установках на крышах зданий, где критически важна оптимизация пространства и высокая энергоэффективность [Thai et al., 2022].

Тонкопленочная технология (Thin-Film) с объемом производства около 480 МВт отличается более низкими производственными затратами по сравнению с традиционными кремниевыми технологиями, что делает ее привлекательной для проектов с ограниченным бюджетом [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023]. Гибкость тонкопленочных модулей позволяет эффективно использовать их в условиях переменной и недостаточной инсоляции, характерных для городских и промышленных зон [Nguyen, 2021].

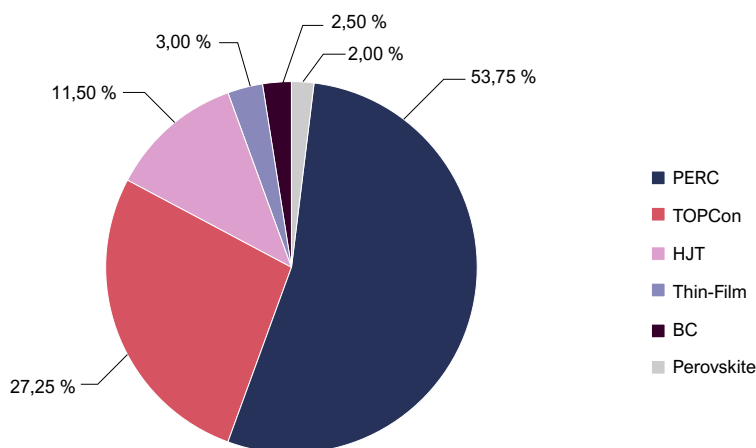
Perovskite – это инновационная технология, которая пока находится на этапе экспериментальных разработок и уже достигла производственной мощности примерно в 320 МВт, открывая перед нами захватывающие горизонты в сфере солнечной энергетики [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023]. Благодаря своим уникальным оптическим и электрическим характеристикам перовскитовый материал обещает революционные прорывы в эффективности преобразования солнечного света в энергию. Вьетнам, не оставаясь в стороне от глобальных тенденций, активно вкладывает средства в научные исследования, направленные на совершенствование и коммерческое внедрение перовскитовых солнечных панелей, что становится ключевым шагом на пути к экологически устойчивой энергетике. Сочетание высокой производительности и относительной простоты изготовления делает перовскит перспективным кандидатом для широкого применения в ближайшем

¹¹ Vietnam's Ministry of Industry and Trade. Vietnam Energy Outlook Report 2024. Режим доступа: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/1._eog-nz_english_june2024_0.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

¹² General Statistics Office of Vietnam. Number of patents granted protection. Режим доступа: <https://www.nso.gov.vn/px-web-2/?pxid=V1333&theme=G%C3%A1o%20d%E1%BB%A5c> (дата обращения: 29.09.2025).

¹³ Solar power: New trend for households, 2025. Режим доступа: <https://www.evn.com.vn/d/vi-VN/news/Dien-nang-luong-mat-troi-Xu-huong-moi-cua-cac-ho-dan-60-17-504174> (дата обращения: 29.09.2025).

¹⁴ Ministry of Information and Communications of Vietnam. New generation solar cells can generate electricity even in weak sunlight, 2025. Режим доступа: <https://vietnamnet.vn/loai-pin-mat-troi-the-he-moi-co-the-tao-ra-dien-du-nang-yeu-2414483.html> (дата обращения: 29.09.2025).



Составлено авторами по материалам источников [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023; Hoang, 2024; Nguyen, Le, 2024]^{11,12,13,14} / Compiled by the authors on the materials of the sources [Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023; Hoang, 2024; Nguyen, Le, 2024]^{11,12,13,14}

Рис. 2. Структура мощностей солнечной энергетики по типу технологии во Вьетнаме в 2023 г.

Fig. 2. Structure of solar energy capacity by type of technology in Vietnam in 2023

будущем, обещая не только экономические выгоды, но и значительный вклад в сохранение окружающей среды [Нгуен, 2023; Tran, 2021].

Ветроэнергетика / Wind energy

В прибрежных районах Центрального и Южного Вьетнама, где дуют сильные и постоянные ветры, энергия ветра открывает огромный, еще не полностью раскрытый потенциал для устойчивого и экологичного развития энергетического сектора, обещая значительные выгоды для экономики и окружающей среды. По данным Вьетнамского управления электроэнергетики, к концу 2023 г. общая мощность ветроэнергетики достигла около 4,948 тыс. МВт¹⁵. Во Вьетнаме много районов с сильными ветрами, средняя скорость ветра во многих прибрежных районах достигает 6–8 м/с [Lee, 2018]. В ветряных электростанциях (далее – ВЭС) применяются два вида турбин.

Ветряная турбина с горизонтальной осью вращения (англ. Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) имеет преимущество в виде высокого коэффициента полезного действия (далее – КПД), который может достигать 45 % при оптимальных условиях, и конструкции, которая широко применяется во всем мире и Вьетнаме (около 80 % от общей мощности ветроэнергетики во Вьетнаме) и может изготавливаться с различной мощностью (от малой до большой), однако первоначальные инвестиционные затраты высоки (1,2–2,5 млн долл. США/МВт) [Do et al., 2022; Nguyen, 2024]. К проектам, в которых применяется данный тип технологии, относится проект ветроэлектростанции Trung Nam (Ниньтхуан, Вьетнам) мощностью 252 МВт [Lindberg, 2022; Do et al., 2022].

Вертикально-осевая ветровая турбина (англ. Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) имеет КПД около 30 %, а затраты на производство и обслуживание высоки (800 тыс. – 1,5 млн долл. США/МВт) [Urakami, 2023; Pham, 2020]. Доля рынка составляет около 10 % от общей мощности ветроэнергетики Вьетнама. Эта технология использовалась в проекте ветроэнергетики VAWT в Ханое (тестовый проект небольшой мощности, около 10 кВт) [Urakami, 2023; Nguyen, 2020].

Технология ветроэнергетики во Вьетнаме развивается быстрыми темпами при участии многих международных инвесторов, мощность ВЭС увеличилась в пять раз с 2019 г. до 2023 г. [Urakami, 2023]¹⁶.

¹⁵ Vietnam's Ministry of Industry and Trade. Vietnam Energy Outlook Report 2024. Режим доступа: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/1_eor-nz_english_june2024_0.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

¹⁶ Vietnam Energy Association. Analysis of Vietnam's target of 150,000 MW of renewable energy by 2035. Режим доступа: <https://nangluongvietnam.vn/phan-tich-ve-muc-tieu-150-nghin-mw-nangluong-tai-cao-cua-viet-nam-den-nam-2035-34407.html> (дата обращения: 29.09.2025).

Гидроэлектроснабжение / Hydroelectric power supply

Гидроэнергетика является крупнейшим ВИЭ во Вьетнаме в 2023 г., из которых 60 % сосредоточено на севере, 27 % – в центральном регионе, оставшиеся 13% – на юге Вьетнама, практически все проекты крупных ГЭС (мощностью более 100 МВт) уже реализованы [Phuoc, Hung, 2024; Sasges, Ziegler, 2023]. Вьетнам сосредоточен на развитии проектов средней и малой гидроэнергетики. Используется три типа ГЭС¹⁷.

1. Русловые гидроэлектростанции (англ. Run-of-River Hydropower) используют естественный поток реки без необходимости в крупных водохранилищах, вода направляется через турбины для выработки электроэнергии, эффективность обычно составляет от 30 до 70 %. Инвестиционные затраты составляют около 1–3 млн долл. США/МВт, средняя себестоимость производства – 0,05 долл. США/кВт/ч. На этот тип технологий пришлось 25 % (5,719 тыс. МВт) от общей мощности гидроэнергетики в 2023 г. [Phuoc, Hung, 2024]. Примером может служить гидроэлектростанция Ban Ve (Нгеан, Вьетнам) мощностью 120 МВт и общими инвестициями около 240 млн долл. США¹⁸.

2. Резервуарные гидроэлектростанции (англ. Reservoir Hydropower) обеспечивают стабильное электроснабжение, смягчение последствий наводнений и возможность регулирования речных стоков, средний КПД гидроэлектростанций обычно составляет от 70 до 90 %. Инвестиционные затраты обычно составляют от 1,5 до 5 млн долл. США/МВт при средней себестоимости производства 0,04 долл. США/кВт/ч. На этот тип технологий пришлось 60 % (13,727 тыс. МВт) общей мощности гидроэнергетики в 2023 г. [Phuoc, Hung, 2024]. Например, общая мощность гидроэлектростанции Son La составляет 2,4 тыс. МВт, а общие инвестиционные затраты – около 3 000 млн долл. США¹⁹.

3. Гидроаккумулирующая электростанция (англ. Pumped Storage Hydropower), эффективность составляет от 60 до 80 % из-за потерь энергии при перекачке воды. Инвестиционные затраты обычно выше и составляют от 2 до 8 млн долл. США/МВт при средней себестоимости производства 0,05 долл. США/кВт/ч. На этот тип технологий пришлось 15 % (3,432 тыс. МВт) от общей мощности гидроэнергетики

¹⁷ Vietnam's Ministry of Industry and Trade. Vietnam Energy Outlook Report 2024. Режим доступа: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/1_eor-nz_english_june2024_0.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

¹⁸ The World Bank. Small Hydro Resource Mapping in Vietnam Final Workshop, 2017. Режим доступа: <https://pubdocs.worldbank.org/en/534651504695771475/Vietnam-Small-Hydro-Mapping-Workshop-WB-ESMAP-Feb2017.pdf> (дата обращения: 29.09.2025).

¹⁹ Там же.

в 2023 г. [Phuoc, Hung, 2024]. Например, мощность гидроэлектростанции Da Nhim (провинции Ламдонг, Вьетнаме) составляет 300 МВт, а общая стоимость инвестиций – около 600 млн долл. США [Tran, 2021].

Гидроэнергетика имеет низкие эксплуатационные расходы (себестоимость производства электроэнергии составляет около 0,04 долл. США/кВт/ч) и может обеспечивать стабильную подачу электроэнергии, способствуя национальной энергетической безопасности.

Энергоснабжение из биомассы / Energy supply from biomass

Вьетнам располагает множеством источников биомассы сельскохозяйственного происхождения, таких как солома, стерня, жом и отходы животноводства [Cuong et al., 2021]. Используется три типа технологий.

1. Технология газификации (англ. Gasification) – это преобразование органических материалов в синтез-газ со средней эффективностью около 60–80 % [Prasittisorin, 2024]. Себестоимость продукции составляет от 0,05 до 0,15 долл. США/кВт/ч. Примером является электростанция Виньфук (мощность – 15 МВт, инвестиционные затраты – 18 млн долл. США) [Hoang, 2024].

2. Анаэробное сбраживание имеет КПД 50–70 %. Инвестиционные затраты составляют 1–1,5 млн долл. США/МВт, себестоимость производства – 0,07–0,12 долл. США/кВт/ч [Hoang, 2024]. Примером является электростанция Hung Yen (мощность – 20 МВт, инвестиционные затраты – 25 млн долл. США) [Cuong et al., 2021].

3. Эффективность электростанций на биомассе составляет 20–30 %, инвестиционные затраты – 1–1,5 млн долл. США/МВт, себестоимость производства – 0,08–0,2 долл. США/кВт/ч [Hoang, 2024]. Примером является электростанция Дананг (мощность – 25 МВт, инвестиционные затраты – 81,2 млн долл. США)²⁰.

Технологии переработки и преобразования биомассы в энергию все еще развиваются. В настоящее время существуют некоторые заводы, производящие электроэнергию из биомассы, но масштабы их пока невелики, и они не пользуются популярностью. Стоимость производства электроэнергии из биомассы составляет около 0,06–0,08 долл. США/кВт/ч, что может быть конкурентоспособным по сравнению с другими источниками энергии [Hoang, 2024]. Использование местного сырья снижает затраты, энергия биомассы может создавать рабочие места в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности, способствуя развитию местной экономики.

Анализ перспектив развития технологий ВИЭ во Вьетнаме с применением метода анализа иерархий / Analysis of the development prospects of renewable energy technologies in Vietnam using the analytic hierarchy process method

Для выбора направлений развития ВИЭ и принятия решений относительно приоритетности инвестиций в ВИЭ разработана многокритериальная модель с применением анализа иерархического процесса, включая [Salman, Razman, 2014]:

- определение целей;
- выбор критериев (технические, экономические, социальные, экологические) и определение весов критериев;
- выбор трех подкритериев по каждому критерию, веса принимаются равными;
- сбор информации по значениям показателей (подкритериев);
- попарное сравнение значений показателей и расчет суммарной оценки каждой технологии по каждому критерию;
- расчет итоговых показателей по каждой технологии с учетом весов критериев.

Определены основные критерии, позволяющие лицам, принимающим решения, провести комплексную технико-экономическую оценку конкретного возобновляемого источника энергии. Далее с учетом выполненного анализа определены 12 подкритериев оценки [Salman, Razman, 2014].

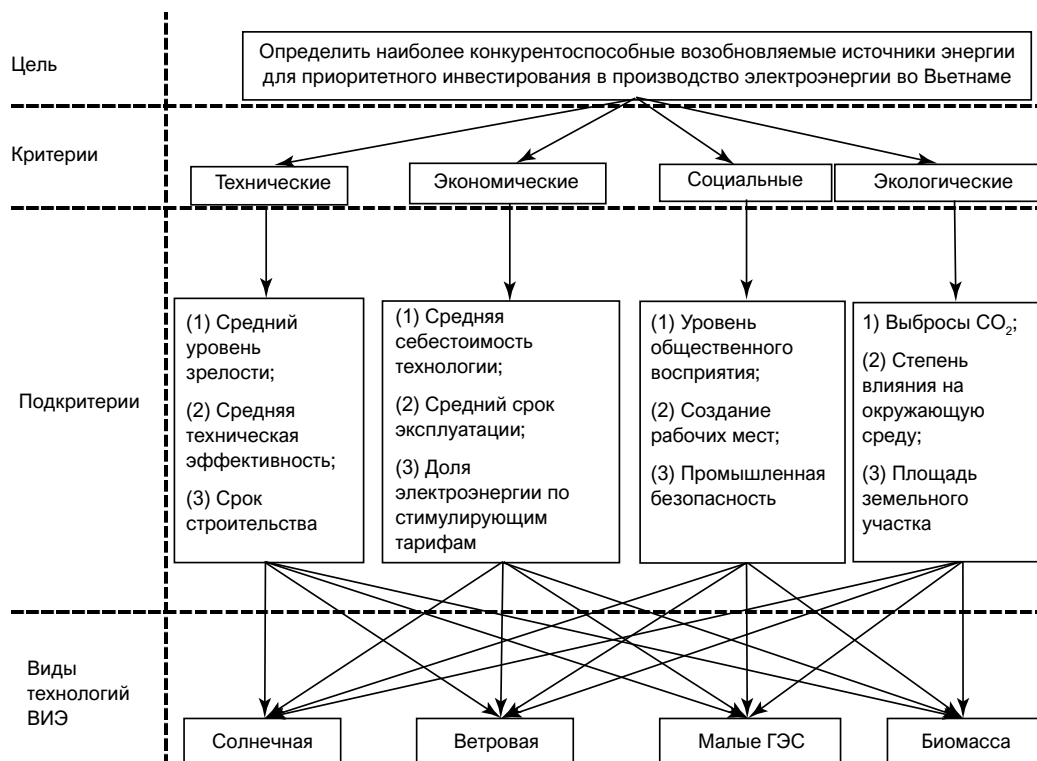
Построенная иерархическая структура оценки ВИЭ показана на рис. 3.

Удельные веса (приоритеты) критериев определены по методу, предложенному Salman и Razman (2014), для Малайзии (эта страна имеет много общего с Вьетнамом в плане технологий, экономики, общества и окружающей среды), поэтому коэффициенты применены для принятия решения о выборе типа источника ВИЭ во Вьетнаме. Принятые в дальнейших расчетах значения экономических, технических, экологических и социальных критериев составляют 25,5, 53,2, 6,7 и 14,6 соответственно [Salman, Razman, 2014]. Удельные веса подкритериев приняты равными 0,33.

Средние значения показателей по подкритериям приведены в табл. 1.

По техническим характеристикам наиболее зрелыми и эффективными являются малые ГЭС и биомасса. Малые гидроэлектростанции показывают самую высокую техническую эффективность (46 %) и короткий срок строительства (три года), при этом они обладают наибольшим сроком эксплуатации – 50 лет. Биомасса, хоть и имеет самую высокую эффективность (72 %), все еще находится на стадии развития и требует большего времени на строительство (пять лет), что может ограничивать ее широкое внедрение.

²⁰ VNEEP. Vietnam Energy Statistic. Режим доступа: <http://vepg.vn/wp-content/uploads/2022/09/English-Energy-statistics-2020-Dec-2021.pdf> (дата обращения: 29.09.2025).



Составлено авторами по материалам источников [11; 12; 26] / Compiled by the authors on the materials of the sources [11; 12; 26]

Рис. 3. Модель анализа иерархического процесса для определения приоритетности инвестиций в ВИЭ во Вьетнаме

Fig. 3. Hierarchical process analysis model for prioritizing renewable energy investments in Vietnam

Таблица 1

Средние значения показателей (подкритериев) для оценки возобновляемых источников энергии во Вьетнаме в 2023 г.

Table 1. Average values of indicators (subcriteria) for evaluating renewable energy sources in Vietnam in 2023

| Критерии / Типы возобновляемой энергии | | Солнечная | Ветровая | Малые ГЭС | Биомасса |
|--|---|-------------------|---------------------|-------------|----------------------|
| Технические | Средний уровень зрелости | Развивающийся (3) | Развивающийся (3) | Высокий (5) | Развивающийся (3) |
| | Средняя техническая эффективность, % | 21,5 | 37,0 | 46,0 | 72,0 |
| | Срок строительства, годы | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 5,0 |
| Экономические | Средняя стоимость технологии, долл. США/кВт | 758,0 | 1 274,0 | 2 881,0 | 2 162,0 |
| | Средний срок эксплуатации, лет | 25,0 | 25,0 | 50,0 | 35,0 |
| | Доля электроэнергии по стимулирующим тарифам, % | 70,0 | 70,0 | 80,0 | 65,0 |
| Социальные | Уровень общественного восприятия (одобрения) | Высокий, 5,0 | Средний, 3 | Высокий, 5 | Средний-высокий, 4,0 |
| | Создание рабочих мест, чел./МВт | 9,0 | 4,0 | 6,0 | 10,0 |
| | Промышленная безопасность | Почти высокая 4,5 | Средняя-высокая 4,0 | Средняя 3,0 | Выше среднего 3,5 |

| Критерии / Типы возобновляемой энергии | | Солнечная | Ветровая | Малые ГЭС | Биомасса |
|--|--|-----------|-----------|-------------|--------------|
| Экологические | Выбросы CO ₂ , г CO ₂ -экв./кВтч | 48,0 | 12,0 | 24,0 | 900,0 |
| | Сила влияния на окружающую среду | Малая 4,0 | Малая 4,0 | Средняя 3,0 | Высокая, 1,0 |
| | Площадь земельного участка, м ² /МВтч/год | 19,0 | 99,0 | 14,0 | 760,0 |

Составлено авторами по материалам источников [Salman, Razman, 2014; Hoang, 2024; Nguyen, Le, 2024; Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023; Phuoc, Hung, 2024; Chu et al., 2024; Prasittisopin, 2024; Nguyen et al., 2024; Tran et al., 2024]^{21,22,23,24,25,26} / Compiled by the authors on the materials of the sources [Salman, Razman, 2014; Hoang, 2024; Nguyen, Le, 2024; Tran, Le, Nguyen, 2024; Urakami, 2023; Phuoc, Hung, 2024; Chu et al., 2024; Prasittisopin, 2024; Nguyen et al., 2024; Tran et al., 2024]^{21,22,23,24,25,26}

С экономической точки зрения наименее затратным видом энергии является солнечная со средней стоимостью установки 758 долл. США/кВт и сопоставимым сроком службы (25 лет)²⁷. Ветровая энергетика, хотя и имеет высокую эффективность, стоит значительно дороже (1,274 тыс. долл. США/кВт), а биомасса и малые ГЭС, несмотря на долгий срок службы, остаются самыми капиталоемкими²⁸. Важно отметить, что высокая доля электроэнергии,

продаваемой по стимулирующим тарифам, указывает на государственную поддержку, что может компенсировать высокие стартовые вложения²⁹.

С социальной стороны наибольшее общественное одобрение наблюдается у солнечной энергии и малых ГЭС (по пять баллов), что связано с их низким уровнем шума. Биомасса обеспечивает наибольшее количество рабочих мест на 1 МВт установленной мощности (10 чел.), что делает ее важной в борьбе с безработицей, особенно в сельских районах. По данным отчета IRENA, уровень серьезных несчастных случаев на производстве на солнечных электростанциях во всем мире составляет < 0,05 случая на 1 тыс. работников в год, что значительно ниже, чем у ветроэнергетики, гидроэнергетики и биомассы³⁰. Согласно данным Министерства промышленности и торговли Вьетнама, на конец 2023 г. в стране функционировало свыше 100 промышленных солнечных электростанций, при этом не было зарегистрировано ни одного значительного инцидента, связанного с обеспечением безопасности [Nguyen et al., 2024; Hoang, 2024].

Согласно данным Главного управления охраны труда Вьетнама, в 2022 г. на объектах ветроэнергетики было зарегистрировано два несчастных случая, однако смертельные исходы отсутствовали³¹. В отчете Министерства природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама за 2021 г. отмечается, что в период с 2015 г. по 2021 г. зафиксировано 7 инцидентов, связанных с малыми гидроэлектростанциями, из которых три привели к значительным оползням, затронувшим

²¹ Vietnam's Ministry of Industry and Trade. Vietnam Energy Outlook Report 2024. Режим доступа: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/1_eor-nz_english_june2024_0.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

²² EVN. Solar power: New trend for households, 2025. Режим доступа: <https://www.evn.com.vn/d/vi-VN/news/Dien-nang-luong-mat-troi-Xu-huong-moi-cua-cac-ho-dan-60-17-504174> (дата обращения: 29.09.2025).

²³ General Statistics Office of Vietnam. Price index of raw materials, fuels and materials used for production. Режим доступа: <https://www.nso.gov.vn/px-web-2/?pxid=V1124&theme=Th%C6%B0C6%A1ng%20m%E1%BA%A1i%2C%20gi%C3%A1%20c%E1%BA%A3> (дата обращения: 29.09.2025).

²⁴ Vietnam Law Library. Regulations on the mechanism for direct electricity purchase and sale between renewable energy generators and large electricity users, 2025. Режим доступа: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Nghi-dinh-57-2025-ND-CP-co-che-mua-ban-dien-truc-tiep-giua-don-vi-phan-dien-nang-luong-tai-tao-645610.aspx> (дата обращения: 29.09.2025).

²⁵ The Ministry of Industry and Trade. The Draft National Power Development Plan for the 2021–2030 Period, with a Vision to 2045 (PDP VIII). Режим доступа: <https://moc.gov.vn/en/news/71492/national-power-development-plan-viii-paves-way-for-renewable-energy.aspx> (дата обращения: 29.09.2025).

²⁶ IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2023. Режим доступа: <https://www.irena.org/Publications/2024/Sep/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2023> (дата обращения: 29.09.2025).

²⁷ IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2023. Режим доступа: <https://www.irena.org/Publications/2024/Sep/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2023> (дата обращения: 29.09.2025).

²⁸ Goldwind. 2023 Annual Results. https://www.goldwind.com/data/uploads/bdc_content2024/4959848469554765824.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

²⁹ Vietnam Energy Association. Developing Feed-in-Tariff (FIT) Mechanism for Renewable Energy in Vietnam – History, Achievements, Challenges. Режим доступа: <https://nangluongvietnam.vn/phat-trien-co-che-ho-tro-gia-fit-cho-nang-luong-tai-tao-viet-nam-lich-su-thanh-tuu-thach-thuc-34070.html> (дата обращения: 29.09.2025).

³⁰ IRENA. Renewable energy statistics 2024. Режим доступа: <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024> (дата обращения: 29.09.2025).

³¹ Ministry of Labor, War Invalids and Social Affairs Assessment of the implementation of occupational safety and health work in 2022 and directions and tasks for 2023. Режим доступа: <https://www.molisa.gov.vn/baiviet/235397?tintucID=235397> (дата обращения: 29.09.2025).

жилые зоны населения³². Кроме того, согласно данным Министерства промышленности и торговли Вьетнама, в 2020 г. на биомассовой электростанции произошел незначительный пожар, вызванный утечкой газа в системе сжигания рисовой шелухи³³.

С точки зрения экологии самыми чистыми источниками являются ветер и солнце — они производят минимальные выбросы CO₂ (12 и 48 г/кВтч соответственно) и оказывают слабое воздействие на окружающую среду. Малые ГЭС уступают им по экологическим параметрам, но все еще остаются устойчивыми

³² Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam, National State of the Environment Report 2021. Режим доступа: <https://nepa.gov.vn/bao-cao-hien-trang-moi-truong-quoc-gia-2021/> (дата обращения: 29.09.2025).

³³ General Statistics Office of Vietnam, Some sustainable development indicators on urban environment and climate change in Vietnam in 2021. Режим доступа: https://www.nso.gov.vn/wp-content/uploads/2023/10/3_vn_report_final_05-10-2023_except.pdf (дата обращения: 29.09.2025).

по сравнению с традиционной генерацией. Наименее экологически приемлемой оказалась биомасса — при высокой выработке энергии она сопровождается значительными выбросами парниковых газов (900 г CO₂-экв./кВтч) и требует больших земельных ресурсов³⁴. Это подтверждает необходимость дальнейшей модернизации технологий переработки биомассы и перехода к более чистым видам топлива.

Далее построены четыре матрицы, в которых выполнено парное сравнение для каждого критерия по всем технологиям. Результаты представлены в табл. 2.

После построения матриц по всем критериям определяются приоритеты для каждой технологии (альтернативы), представленные на рис. 4.

³⁴ IRENA. Renewable energy statistics 2024. Режим доступа: <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/Renewable-energy-statistics-2024> (дата обращения: 29.09.2025).

Таблица 2

Матрицы парных сравнений для критериев оценки технологий ВИЭ

Table 2. Pairwise comparison matrices for evaluation criteria of renewable energy technologies

| Технические категории | Солнечная | Ветровая | МГЭС | Биомасса | Экономические категории | Солнечная | Ветровая | МГЭС | Биомасса |
|-----------------------|-----------|----------|--------|----------|-------------------------|-----------|----------|--------|-----------|
| Солнечная | 1,0000 | 0,9715 | 0,6891 | 0,988400 | Солнечная | 1,0000 | 1,2269 | 1,7253 | 1,547800 |
| Ветровая | 1,0294 | 1,0000 | 0,7181 | 0,921300 | Ветровая | 0,8151 | 1,0000 | 1,2121 | 1,162700 |
| МГЭС | 1,4511 | 1,3925 | 1,0000 | 1,324100 | МГЭС | 0,5796 | 0,8250 | 1,0000 | 1,136600 |
| Биомасса | 1,0117 | 1,0854 | 0,7552 | 1,000000 | Биомасса | 0,6461 | 0,8600 | 0,8798 | 1,000000 |
| Итого | 4,4922 | 4,4494 | 3,1625 | 4,233800 | Итого | 3,0400 | 3,9100 | 4,8200 | 4,847151 |
| Социальные категории | Солнечная | Ветровая | МГЭС | Биомасса | Экологические категории | Солнечная | Ветровая | МГЭС | Биомасса |
| Солнечная | 1,0000 | 1,5694 | 1,2667 | 1,061900 | Солнечная | 1,0000 | 2,1535 | 0,8567 | 20,91670 |
| Ветровая | 0,6372 | 1,0000 | 0,8667 | 0,764300 | Ветровая | 0,4644 | 1,0000 | 1,1582 | 28,89230 |
| МГЭС | 0,7895 | 1,1538 | 1,0000 | 0,902400 | МГЭС | 1,1672 | 0,8634 | 1,0000 | 31,595200 |
| Биомасса | 0,9417 | 1,3084 | 1,1082 | 1,000000 | Биомасса | 0,0478 | 0,0346 | 0,0317 | 1,000000 |
| Итого | 3,3700 | 5,0300 | 4,2400 | 3,728571 | Итого | 2,6800 | 4,0500 | 3,0500 | 82,404160 |

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

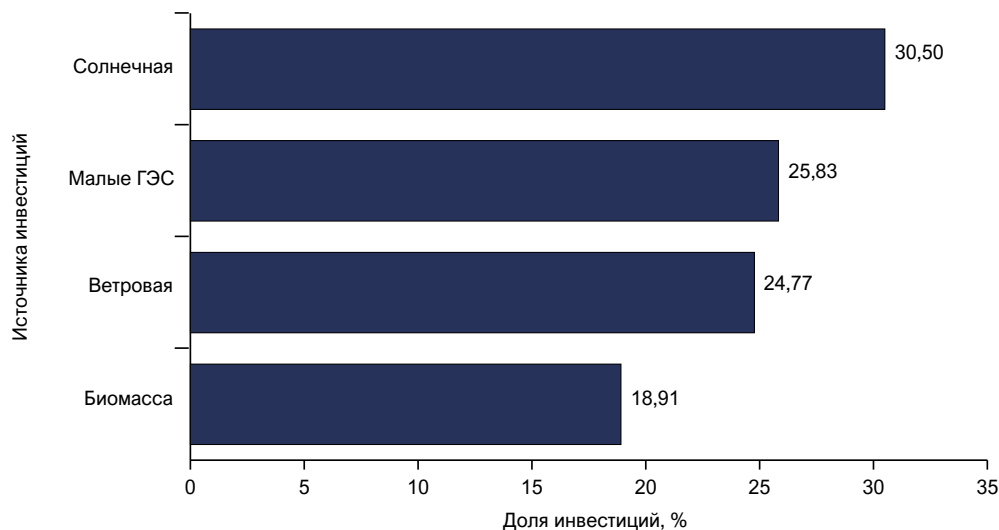
| | Приоритетный вес альтернатив по отношению к критериям | | | | Приоритетный вес критериев по отношению к цели | | Результат | |
|----|---|-----------------|--------------|-----------------|--|-----------------------|-----------|--------------------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | ([Salman, Razman, 2014] по Малайзии) | | | |
| B1 | 0,2231 | 0,3300 | 0,2981 | 0,3599 | X | 0,255 (технические) | = | 0,3050 (солнечная) |
| B2 | 0,2246 | 0,2538 | 0,1993 | 0,2877 | | 0,532 (экономические) | | 0,2477 (ветровая) |
| B3 | 0,3162 | 0,2109 | 0,2354 | 0,3401 | | 0,067 (социальные) | | 0,2583 (МГЭС) |
| B4 | 0,2360 | 0,2053 | 0,2673 | 0,0122 | | 0,146 (экологические) | | 0,1891 (биомасса) |
| | (технические) | (экономические) | (социальные) | (экологические) | | | | |

Примечание: источник [Salman, Razman, 2014] использован для определения весов критериев, результат получен расчетным путем с применением методики аналитического иерархического процесса

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 4. Построение матрицы приоритетов для оценки ВИЭ во Вьетнаме (приоритетный вес альтернатив по отношению к критериям)

Fig. 4. Building a priority matrix for assessing renewable energy in Vietnam (priority weight of alternatives in relation to criteria)



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 5. Приоритеты ВИЭ во Вьетнаме

Fig. 5. Renewable energy priorities in Vietnam

Уровень конкурентоспособности и приоритеты инвестиций в ВИЭ во Вьетнаме определены следующим образом: солнечная энергия — 30,5 %, малые ГЭС — 25,83 %, ветровая энергия — 24,77 %, биомасса — 18,91 %. Эти результаты указывают на растущий интерес к потенциалу солнечной энергии как наиболее привлекательного источника для инвестиций.

Полученные результаты расчетов авторов приоритетности ВИЭ во Вьетнаме показаны на рис. 5.

Основными факторами конкурентоспособности солнечной энергии являются относительно короткий срок строительства (три года), наименьшая средняя стоимость (758 долл. США/кВт), высокий уровень общественного восприятия и одобрения солнечной энергии, низкий уровень эксплуатационного риска³⁵. Малые ГЭС имеют более высокий срок эксплуатации (50 лет) и низкие выбросы CO₂ (24 г CO₂-экв./кВт/ч), более высокую стоимость технологии (2,881 тыс. долл. США/кВт) и длительный срок строительства (четыре года). Малая ГЭС может стать причиной внезапных наводнений и оползней³⁶.

Хотя ветровая энергия и биомасса предлагают ряд ощутимых преимуществ, от создания новых рабочих мест и обеспечения высокого уровня безопасности до значительного снижения выбросов CO₂, что помогает в борьбе с глобальным потеплением, их внедрение сталкивается с серьезными

препятствиями. Более высокие затраты на установку и эксплуатацию, а также менее благоприятное общественное восприятие, связанное с визуальным воздействием ветряных мельниц или запахами от биомассы, заметно снижают инвестиционную привлекательность этих технологий, делая их менее конкурентоспособными по сравнению с другими источниками энергии.

Основные выводы исследования:

- анализ сравнения технологий и источников ВИЭ по техническим характеристикам показал, что наиболее зрелыми и эффективными являются малые ГЭС и биомасса, солнечной и ветрогенерации следует увеличивать техническую эффективность;

- по экономическим показателям наименее затратным и наиболее эффективным видом энергии является солнечная генерация, при этом максимальный срок эксплуатации имеют малые ГЭС;

- по социальным критериям все виды ВИЭ являются сопоставимыми и поддерживаются общественностью;

- по экологическим критериям существенно проигрывает производство энергии на биомассе, при этом остальные виды генерации сопоставимы по характеристикам;

- выполненная оценка перспектив развития секторов ВИЭ во Вьетнаме с применением метода анализа иерархического процесса показала (рис. 5), что уровень конкурентоспособности и приоритеты инвестиций в ВИЭ во Вьетнаме определены следующим образом: солнечная энергия — 30,5 %, малые ГЭС — 25,83 %, ветровая энергия — 24,77 %, биомасса — 18,91 %, что указывает на растущий интерес к потенциалу солнечной энергии как наиболее привлекательного источника для инвестиций.

³⁵ EVN. Solar power: New trend for households. Режим доступа: <https://www.evn.com.vn/d/vi-VN/news/Dien-nang-luong-mat-troi-Xu-huong-moi-cua-cac-ho-dan-60-17-504174> (дата обращения: 29.09.2025).

³⁶ EVN. Pumped hydropower — the key to energy transition. Режим доступа: <https://www.evn.com.vn/d/vi-VN/news/Thuy-dien-tich-nang-Chia-khoa-thuc-day-chuyen-dich-nang-luong-60-8-500804> (дата обращения: 29.09.2025).

Заключение / Conclusion

Выбор конкретной технологии и типа электростанции играет ключевую роль в формировании конкурентоспособности ВИЭ во Вьетнаме, напрямую отражаясь на экономической рентабельности и общей стабильности национальной энергетической инфраструктуры. В эпоху бурного роста потребления энергии и острой необходимости минимизировать углеродный след умелое сочетание разнообразных инновационных подходов, будь то солнечные панели, ветряки или биомасса, становится основным гарантом плавного и эффективного перехода к экологически чистой энергетической модели, обещая долгосрочные выгоды для экономики и окружающей среды.

Наглядные преимущества солнечной энергии выводят ее на передовые позиции в энергетическом ландшафте Вьетнама: от сравнительно невысоких затрат на инвестиции до интенсивного солнечного излучения и благоприятного климата, который идеально подходит для таких проектов. Применение передовых технологий вроде PERC и TOPCon ускоряет реализацию инициатив до трех лет и значительно повышает эффективность систем, делая их еще более привлекательными. Кроме того, эта отрасль не только приносит экономическую пользу, но и стимулирует социальный прогресс, открывая новые рабочие места и минимизируя операционные риски. Все это делает солнечную энергетику неотъемлемой частью национальной стратегии по декарбонизации, что подтверждается впечатляющими экономическими и экологическими результатами, обещающими устойчивое будущее для страны.

В сфере гидроэнергетики, особенно с малыми ГЭС и гидроаккумулирующими системами, мы наблюдаем впечатляющий уровень технологической

зрелости и огромный потенциал для укрепления стабильности энергосистемы. Это особенно ценно для Вьетнама с его богатейшими водными ресурсами, которые открывают широкие возможности для развития. Однако важно учитывать экологические аспекты и интегрировать меры по минимизации воздействия на окружающую среду.

Ветровая энергия, несмотря на значительные капитальные вложения и технические сложности при установке оффшорных турбин, сохраняет огромный, но пока недостаточно раскрытый потенциал, особенно в прибрежных регионах. Для его эффективного использования необходимы государственные стимулы и международное сотрудничество.

Энергетика на основе биомассы благодаря широкому спектру технологических решений и доступности сельскохозяйственных и бытовых отходов становится все более важной составляющей энергетического комплекса, способствуя устойчивому развитию сельских территорий и решению проблем утилизации отходов.

Интегрированное развитие всех перечисленных направлений с учетом региональных особенностей и внедрением инновационных технологий позволит Вьетнаму не только обеспечить энергетическую безопасность, но и стать образцом устойчивого и экологически ответственного развития в регионе. Для достижения этих целей необходимы комплексная государственная политика, поддержка научных исследований и активное международное сотрудничество, что в итоге создаст прочную основу для долгосрочного роста и благополучия общества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильев Ю.Н., Стройков Г.А. Обзор практических инструментов повышения общественной осведомленности о технологиях секвестрации CO₂ за рубежом. РИСК. 2020;1:73–77.
- Нгуен А.Ф. Вызовы и возможности развития топливно-энергетического комплекса Вьетнама. Инновации и инвестиции. 2023;4:309–312.
- Пашкевич М.А., Данилов А.С. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Записки Горного института. 2023;260:153–154.
- Chu H.L., Do N.T., Nguyen L., Le L., Ho Q.A., Dang K., Ta M.A. The economic impacts of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism on developing countries: the case of Vietnam. Fulbright Review of Economics and Policy. 2024;4(1):1–17. <https://doi.org/10.1108/FREP-03-2024-0011>

REFERENCES

- Chu H.L., Do N.T., Nguyen L., Le L., Ho Q.A., Dang K., Ta M.A. The economic impacts of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism on developing countries: the case of Vietnam. Fulbright Review of Economics and Policy. 2024;4(1):1–17. <https://doi.org/10.1108/FREP-03-2024-0011>
- Cuong T.T., Le H.A., Khai N.M., Hung P.A., Linh L.T., Thanh N.V., Tri N.D., Huan N.X. Renewable energy from biomass surplus resource: Potential of power generation from rice straw in Vietnam. Sci. Rep. 2021;11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80678-3>
- Do T.N., Paul J.B., Llewelyn H., Ta D.T. Policy options for offshore wind power in Vietnam. Marine Policy. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105080>
- Hoang K.L. Renewable Energy Development in Vietnam – Current Situation and Solutions. International Journal of Sustainable Applied Sciences. 2024;2(4). <https://doi.org/10.59890/ijzas.v2i4.1764>

- Cuong T.T., Le H.A., Khai N.M., Hung P.A., Linh L.T., Thanh N.V., Tri N.D., Huan N.X.* Renewable energy from biomass surplus resource: Potential of power generation from rice straw in Vietnam. *Sci. Rep.* 2021;11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80678-3>
- Do T.N., Paul J.B., Llewelyn H., Ta D.T.* Policy options for offshore wind power in Vietnam. *Marine Policy.* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105080>
- Hoang K.L.* Renewable Energy Development in Vietnam – Current Situation and Solutions. *International Journal of Sustainable Applied Sciences.* 2024;2(4). <https://doi.org/10.59890/ijzas.v2i4.1764>
- Lee M.* Observation-based solar and wind power capacity factors and power densities. *Environmental Research Letters.* 2018;10(13):104008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae102>
- Lindberg O.* Wind and Solar Parks to Increase the Capacity Factor. In: 21st Wind & Solar Integration Workshop. 2022. <https://doi.org/10.1049/icp.2022.2823>
- Nguyen K.Q.* Wind energy in Vietnam: Resource assessment, development status and future implications. *Energy Policy.* 2020;138:1405–1413. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.011>
- Nguyen M.P., Ponomarenko T., Nguyen N.* Energy Transition in Vietnam: A Strategic Analysis and Forecast. *Sustainability.* 2024;16. <https://doi.org/10.3390/su16051969>
- Nguyen T.A.* The impact of feed-in tariffs on solar energy development in Vietnam. *Energy Policy.* 2020;139:111316.
- Nguyen V.C.T., Le H.Q.* The impact of ICT infrastructure, technological innovation, renewable energy consumption and financial development on carbon dioxide emission in emerging economies: new evidence from Vietnam. *Management of Environmental Quality.* 2024;6(35):1233–1253. <https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2023-0325>
- Nguyen X.P.* Renewable energy policy in Vietnam: Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111652>
- Pham T.H.* The development of wind energy in Vietnam: Opportunities and challenges. *Energy Policy.* 2020;139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111479>
- Phuoc T., Hung N.T.* Do green finance and energy counteract a sustainable environment in Vietnam? Quantile and frequency analysis. *International Journal of Emerging Markets.* 2024. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-03-2024-0507>
- Prasittisopin L.* Power plant waste (fly ash, bottom ash, biomass ash) management for promoting circular economy in sustainable construction: emerging economy context. *Smart and Sustainable Built Environment.* 2024. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2024-0395>
- Salman A., Razman M.T.* Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renewable Energy.* 2014;63:458–466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.001>
- Sasges G., Ziegler A.D.* We Have Eaten the Rivers: The Past, Present, and Unsustainable Future of Hydroelectricity in Vietnam. *Sustainability.* 2023;15. <https://doi.org/10.3390/su15118969>
- Thai H.T.N., Wang C.N., Nguyen V.T.* Fuzzy Multi-Criteria Decision Making for Solar Power Plant Location Selection. *Computers, Materials & Continua.* 2022;3(72):4853–4865. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.026374>
- Tran Q.T.* Challenges and opportunities for renewable energy in Vietnam: A review. *Renewable Energy.* 2021;163:150–162.
- Tran K.T., Le N., Nguyen P.V.* Assessing the role of consumer innovativeness and government incentives in enhancing the intention to install solar photovoltaic panels in Vietnam. *International Journal of Organizational Analysis.* 2024. <https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2024-4476>
- Tran D.H., Bazhin V.Yu., Makushin D.V., Krylov K.A.* Influence of temperature regime of the combined process of casting and rolling of strips from high-alloy aluminium alloys. *Non-ferrous Metals.* 2024;2(57):45–51. <https://doi.org/10.17580/nfm.2024.02.07>
- Lee M.* Observation-based solar and wind power capacity factors and power densities. *Environmental Research Letters.* 2018;10(13):104008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae102>
- Lindberg O.* Wind and Solar Parks to Increase the Capacity Factor. In: 21st Wind & Solar Integration Workshop. 2022. <https://doi.org/10.1049/icp.2022.2823>
- Nguyen A.P.* Challenges and Opportunities for the Development of the Fuel and Energy Complex of Vietnam. *Innovation & Investment.* 2023;4:309–312. (In Russian).
- Nguyen K.Q.* Wind energy in Vietnam: Resource assessment, development status and future implications. *Energy Policy.* 2020;138:1405–1413. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.011>
- Nguyen M.P., Ponomarenko T., Nguyen N.* Energy Transition in Vietnam: A Strategic Analysis and Forecast. *Sustainability.* 2024;16. <https://doi.org/10.3390/su16051969>
- Nguyen T.A.* The impact of feed-in tariffs on solar energy development in Vietnam. *Energy Policy.* 2020;139:111316.
- Nguyen V.C.T., Le H.Q.* The impact of ICT infrastructure, technological innovation, renewable energy consumption and financial development on carbon dioxide emission in emerging economies: new evidence from Vietnam. *Management of Environmental Quality.* 2024;6(35):1233–1253. <https://doi.org/10.1108/MEQ-09-2023-0325>
- Nguyen X.P.* Renewable energy policy in Vietnam: Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111652>
- Pashkevich M.A., Danilov A.S.* Environmental Safety and Sustainable Development. *Journal of Mining Institute.* 2023;260:153–154. (In Russian).
- Pham T.H.* The development of wind energy in Vietnam: Opportunities and challenges. *Energy Policy.* 2020;139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111479>
- Phuoc T., Hung N.T.* Do green finance and energy counteract a sustainable environment in Vietnam? Quantile and frequency analysis. *International Journal of Emerging Markets.* 2024. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-03-2024-0507>
- Prasittisopin L.* Power plant waste (fly ash, bottom ash, biomass ash) management for promoting circular economy in sustainable construction: emerging economy context. *Smart and Sustainable Built Environment.* 2024. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2024-0395>
- Salman A., Razman M.T.* Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. *Renewable Energy.* 2014;63:458–466. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.001>
- Sasges G., Ziegler A.D.* We Have Eaten the Rivers: The Past, Present, and Unsustainable Future of Hydroelectricity in Vietnam. *Sustainability.* 2023;15. <https://doi.org/10.3390/su15118969>
- Thai H.T.N., Wang C.N., Nguyen V.T.* Fuzzy Multi-Criteria Decision Making for Solar Power Plant Location Selection. *Computers, Materials & Continua.* 2022;3(72):4853–4865. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.026374>
- Tran Q.T.* Challenges and opportunities for renewable energy in Vietnam: A review. *Renewable Energy.* 2021;163:150–162.
- Tran K.T., Le N., Nguyen P.V.* Assessing the role of consumer innovativeness and government incentives in enhancing the intention to install solar photovoltaic panels in Vietnam. *International Journal of Organizational Analysis.* 2024. <https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2024-4476>
- Tran D.H., Bazhin V.Yu., Makushin D.V., Krylov K.A.* Influence of temperature regime of the combined process of casting and rolling of strips from high-alloy aluminium alloys. *Non-ferrous Metals.* 2024;2(57):45–51. <https://doi.org/10.17580/nfm.2024.02.07>

Tran D.H., Bazhin V.Yu., Makushin D.V., Krylov K.A. Influence of temperature regime of the combined process of casting and rolling of strips from high-alloy aluminium alloys. *Non-ferrous Metals*. 2024;2(57):45–51. <https://doi.org/10.17580/nfm.2024.02.07>

Urakami A. Are the Barriers to Private Solar/Wind Investment in Vietnam Mainly Those That Limit Network Capacity Expansion? *Sustainability*. 2023;15:10734. <https://doi.org/10.3390/su151310734>

Urakami A. Are the Barriers to Private Solar/Wind Investment in Vietnam Mainly Those That Limit Network Capacity Expansion? *Sustainability*. 2023;15:10734. <https://doi.org/10.3390/su151310734>

Vasiliev Yu.N., Stroykov G.A. Review of Practical Tools for Raising Public Awareness of CO₂ Sequestration Technologies Abroad. *Journal of Risk*. 2020;1:73–77. (In Russian).