УДК 620.9+504.05

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ «ЗЕЛЁНОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF GREEN ENERGY TECHNOLOGIES

Махсумов Илхом Бурхонович
кандидат технических наук,
заведующий кафедрой альтернативных источников энергии,
Институт энергетики Таджикистана (ИЭТ)
messi.ilhom@gmail.com

Холназаров Музаффар Бойназарович
кандидат экономических наук,
доцент кафедры национальной экономики
и экономической безопасности,
Таджикский национальный университет
m17.07.1989@gmail.ru

Аннотация. В статье проведён анализ экологического влияния возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на всех этапах их жизненного цикла. Рассмотрены выбросы парниковых газов, потребление ресурсов, влияние на экосистемы, а также проблемы утилизации оборудования. Особое внимание уделено способам снижения экологического ущерба через переработку, оптимизацию размещения и накопление энергии. Комплексный подход к развитию ВИЭ способствует их экологической устойчивости.

Ключевые слова: зелёная энергетика, экологическая безопасность, ВИЭ, переработка отходов, устойчивое развитие.

Makhsumov Ilkhom Burkhonovich
Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department
of Alternative Energy Sources,
Tajikistan Power Engineering Institute
messi.ilhom@gmail.com

Kholnazarov Muzaffar Boynazarovich
Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor
of the Department of National Economy
and Economic Security,
Tajik National University
m17.07.1989@gmail.ru

Annotation. The article analyses the environmental impact of renewable energy sources (RES) at all stages of their life cycle. Greenhouse gas emissions, resource consumption, impact on ecosystems, as well as problems of equipment utilisation are considered. Special attention is paid to the ways of reducing environmental damage through recycling, optimisation of location and energy storage. An integrated approach to RES development contributes to their environmental sustainability.

Keywords: green energy, environmental safety, RES, waste recycling, sustainable development.

В последние десятилетия мир активно переходит к возобновляемых источников энергии стремясь сократить выбросы парниковых газов, снизить зависимость от ископаемого топлива и минимизировать ущерб экологии. Солнечная, ветровая, гидро- и биоэнергетика играют ключевую роль в устойчивом развитии.

Традиционные углеводородные источники энергии загрязняют окружающую среду и способствуют глобальному потеплению. Хотя зелёная энергетика более экологична, её внедрение не лишено рисков. Производство солнечных панелей требует токсичных веществ, ветроэлектростанции могут вредить птицам, а гидроэлектростанции нарушают экосистемы рек [1].

Одним из ключевых преимуществ ВИЭ является значительное сокращение выбросов парниковых газов, прежде всего углекислого газа (CO_2). В процессе эксплуатации солнечных, ветровых и гидроэлектростанций не происходит сжигания органического топлива, что минимизирует углеродный след. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC), переход на возобновляемые источники энергии способен значительно сократить глобальные выбросы CO_2, что является критически важным шагом в борьбе с изменением климата [2].

Кроме того, зелёная энергетика снижает зависимость от ограниченных природных ресурсов. Ископаемые виды топлива требуют постоянной добычи, что приводит к истощению природных запасов и разрушению экосистем. Использование солнечной, ветровой и гидроэнергии позволяет отказаться от этого процесса, что способствует сохранению недр Земли и уменьшению масштабов горнодобывающей деятельности.

Традиционная энергетика на основе угля и нефти сопровождается выбросами в атмосферу вредных веществ, таких как оксиды серы (SO_3), оксиды азота (NO_2) и твёрдые частицы, что приводит к образованию кислотных дождей, смога и серьёзным заболеваниям дыхательной системы у человека. ВИЭ, в свою очередь, не выделяют загрязняющих веществ в атмосферу, что способствует улучшению качества воздуха и снижению уровня заболеваемости, связанной с загрязнением окружающей среды. Кроме того, возобновляемая энергетика практически не оказывает негативного влияния на водные ресурсы. Для работы традиционных электростанций требуется значительное количество воды для охлаждения, что приводит к её загрязнению и перегреву водоёмов. ВИЭ, за исключением гид-

роэнергетики, не требуют интенсивного использования воды, что помогает сохранить водные экосистемы.

Таким образом, переход на зелёную энергетику является важным шагом в снижении нагрузки на окружающую среду, улучшении качества воздуха и воды, а также в обеспечении устойчивого использования природных ресурсов [3]. На рисунке 1 приставлена график Снижение выбросов CO_2 при переходе на ВИЭ.

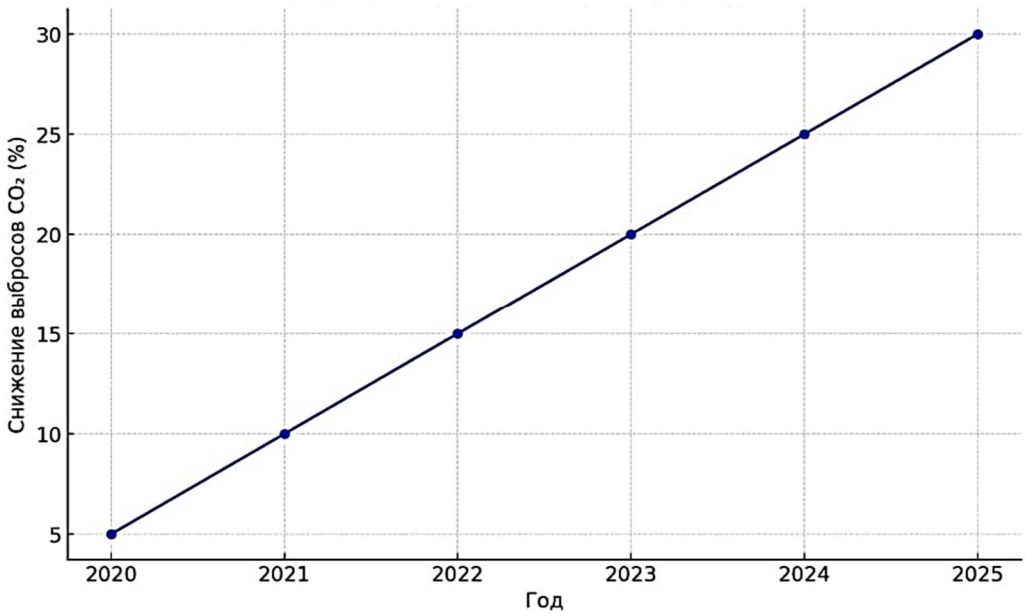

Рисунок 1 – Снижение выбросов CO_2 при переходе на ВИЭ

Экологические вызовы, связанные с возобновляемых источников энергии, становятся всё более актуальными по мере их широкого внедрения. Производство солнечных и ветряных установок требует редкоземельных металлов, таких как неодим, диспрозий и тербий, добыча которых сопровождается загрязнением окружающей среды [4]. Утилизация солнечных панелей остаётся проблемой, так как они содержат токсичные элементы, включая свинец и кадмий, а переработка их экономически затрата. Лопасти ветрогенераторов из стеклопластика трудно перерабатывать, что приводит к их накоплению на полигонах, хотя разрабатываются методы вторичного использования [5].

Солнечные и ветряные фермы требуют больших земельных ресурсов, что ведёт к фрагментации экосистем и снижению биоразнообразия. Ветряные электростанции могут угрожать перелётным птицам и летучим мышам, а гидроэлектростанции изменяют гидрологический режим, ухудшая качество воды [5]. Ветрогенераторы создают шумовое и вибрационное загрязнение, которое может оказывать негативное воздействие на животных, в частности летучих мышей и птиц, а также вызывать дискомфорт у людей. ГЭС приводят к изменению уровня воды, температуры и содержания кислорода, что негативно сказывается на численности рыб и других водных организмов.

Для минимизации этих рисков необходимы технологии переработки компонентов ВИЭ, тщательная экологическая оценка мест размещения и разработка устойчивых решений. На рисунке 2 представлено сравнение выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла различных технологий генерации и хранения энергии [6].

Один из перспективных способов повышения экологичности возобновляемых источников энергии это развитие переработки компонентов их инфраструктуры. Это особенно актуально для солнечных панелей, ветряных турбин и аккумуляторов, срок службы которых ограничен 20–30 годами. Эффективная переработка кремния, редкоземельных металлов и других материалов снизит объём отходов и потребность в добыче природных ресурсов. Использование «экологически чистых» материалов и развитие перерабатывающей инфраструктуры создаёт замкнутый цикл жизненного пути продуктов ВИЭ [7].

Оптимизация размещения объектов ВИЭ критична для сохранения биоразнообразия. Неправильное расположение ветротурбин и солнечных ферм угрожает популяциям птиц и экосистемам. Для минимизации воздействия необходимы экологические оценки, учитывающие миграцию птиц и состояние земель. Предпочтительно использовать малопродуктивные или заброшенные участки, а также крыши зданий. Экологические карты и данные об экосистемах помогут определить оптимальные места для установки [8].

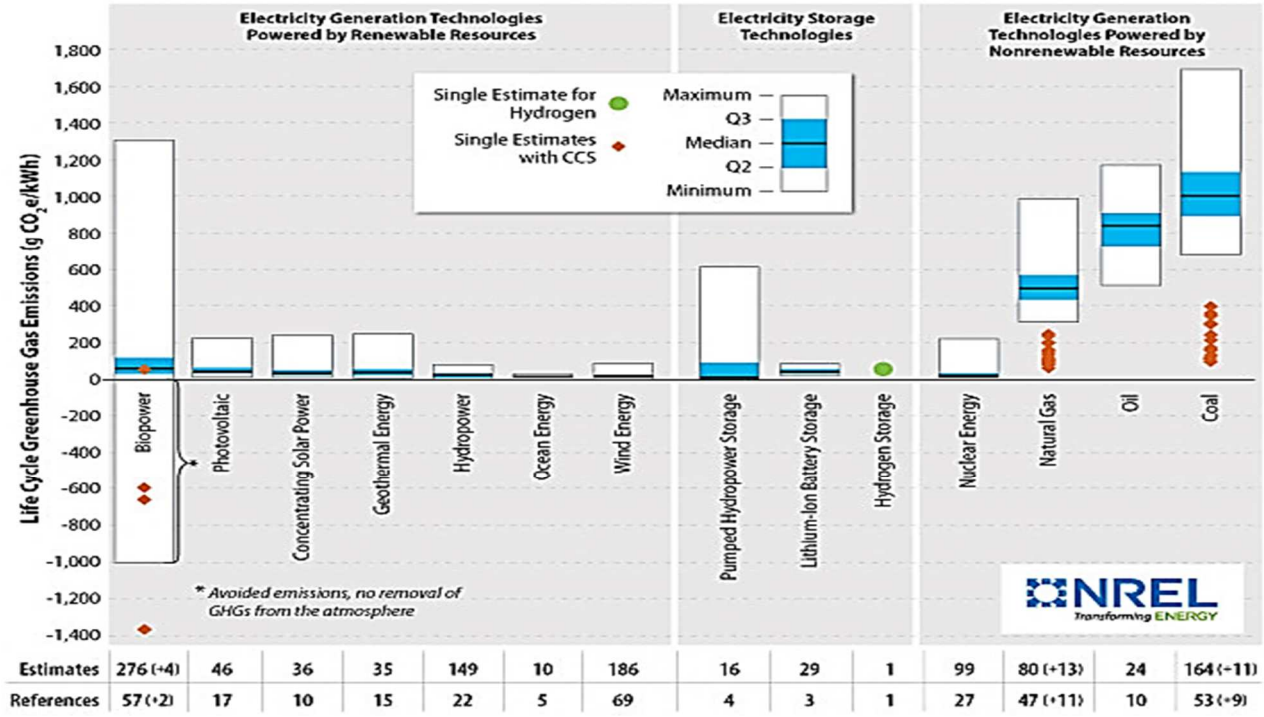

Рисунок 2 – Сравнение опубликованных оценок выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла для технологий генерации и хранения электроэнергии [6]

Главной проблемой ВИЭ остаётся переменная выработка энергии. Решением является интеграция с накопителями, такими как аккумуляторные системы и гидроаккумулирующие станции. Интеллектуальные сети (smart grids) позволяют эффективно управлять энергопотоками, балансируя спрос и предложение. В сочетании с накопителями они повышают устойчивость системы и снижают зависимость от углеродных источников [9].

Рисунок 3 – Интеграция возобновляемых источников энергии в электрическую сеть [10]

В заключениях можно отметит, что развитие возобновляемых источников энергии играет ключевую роль в снижении экологической нагрузки энергетического сектора, обеспечивая сокращение выбросов парниковых газов и снижение зависимости от исчерпаемых ресурсов. Однако для обеспечения их экологической безопасности необходимо учитывать полный жизненный цикл технологий от добычи сырья до утилизации оборудования. Основные вызовы связаны с ресурсной интенсивностью,

воздействием на экосистемы и недостаточной переработкой отходов. Решением является совершенствование перерабатывающих технологий, экологически ориентированная добыча, оптимизация размещения объектов и внедрение интеллектуальных энергосистем. Комплексный подход позволит повысить устойчивость и эффективность зелёной энергетики в долгосрочной перспективе.

Список литературы:

1. Махсумов И.Б. Экологические и экономические особенности и перспективы развития возобновляемых источников энергии / И.Б. Махсумов, З.С. Рахимов, Х.А. Рахимов // Энергетика: состояние и перспективы развития: Материалы Международной научно-практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 г. – Душанбе : Aprint, 2024. – С. 115–122.

2. Махсумов И.Б. Перспективы и вызовы солнечной энергетики в эпоху устойчивого развития / И.Б. Махсумов, М.Б. Холназаров // Технические и технологические системы: Материалы XV Международной научной конференции, Краснодар, 20–22 ноября 2024 г. – Краснодар : Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом – Юг», 2024. – С. 252–257.

3. Силемонов Д.С. Экономические и экологические аспекты применения солнечной энергетики в городских условиях / Д.С. Силемонов, Г. Сафарзода, Б.В. Худоназаров // Бутаковские чтения: Сборник статей IV Всероссийской с международным участием молодёжной конференции, Томск, 10–12 декабря 2024 г. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 299–302.

4. Шампатей О.О. Вред окружающей среде при производстве и утилизации оборудования для возобновляемых источников энергии / О.О. Шампатей, А.И. Сердюк // Проблемы техносферной и экологической безопасности в промышленности, строительстве и городском хозяйстве: Сб. материалов I Междунар. науч. конф., Макеевка, 16 февр. 2023 г. – Макеевка : Донбас. нац. акад. стр-ва и архит., 2023. – С. 248–251.

5. Махсумов И.Б. Технические и экономические аспекты использования возобновляемых источников энергии / И.Б. Махсумов, А.Н. Давлатзода, К.Ш. Шокиров // Энергетика: состояние и перспективы развития: Материалы Международной научно-практической конференции, Душанбе, 23 декабря 2024 г. – Душанбе : Aprint, 2024. – С. 99–106.

6. IRENA – International Renewable Energy Agency. – URL : https://www.nrel.gov/analysis/assets/images/nrel-jisea-nicholson-box-plot.jpg (дата обращения 21.03.2025).

7. Жданеев О.В. Переработка отходов возобновляемой энергетики. Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE) / О.В. Жданеев, Т.В. Алешкевич. – 2024. – № (5). – С. 68–92. – URL : https://doi.org/10.15518/isjaee.2024.05.068-092

8. Кирикович А.Ю. Накопители электроэнергии и интеллектуальные сети / А.Ю. Кирикович; Науч. рук. Е.А. Дерюгина // Электроэнергетика и электротехника: Материалы 79-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Актуальные проблемы энергетики» (Минск, апр. 2023 г.). – Мн. : БНТУ, 2023. – С. 162–165.

9. Махсумов И.Б. Оценка устойчивости и надежности систем распределённой генерации на основе возобновляемых источников энергии // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: Материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2025. – Т. 13. – № 1. – С. 48–50.

10. Renewables 101: Integrating Renewable Energy Resources into the Grid. – URL : https://www.rff.org/publications/explainers/renewables-101-integrating-renewables (дата обращения 21.03.2025).

List of references:

1. Makhsumov I.B. Ecological and economic features and prospects for the development of renewable energy / I.B. Makhsumov, Z.S. Rakhimov, H.A. Rakhimov // Energy: state and prospects of development: proceedings of the international scientific-practical conference, Dushanbe, 23 December 2024. – Dushanbe : Aprint, 2024. – P. 115–122.

2. Makhsumov I.B. Prospects and challenges of solar energy in the era of sustainable development / I.B. Makhsumov, M.B. Kholnazarov // Technical and Technological Systems: Proceedings of the XV International Scientific Conference, Krasnodar, 20-22 November 2024 - Krasnodar: Limited Liability Company «Publishing House – Yug», 2024. – P. 252–257.

3. Silemonov D.S. Economic and environmental aspects of solar energy application in urban conditions / D.S. Silemonov, G. Safarzoda, B.V. Khudonazarov // Butakov Readings: Collection of articles of the IV All-Russian with international participation youth conference, Tomsk, 10–12 December 2024. – Tomsk : National Research Tomsk Polytechnic University, 2024. – P. 299–302.

4. Shampatey O.O. Environmental damage in the production and disposal of equipment for renewable energy sources / O.O. Shampatey, A.I. Serdyuk // Problems of technosphere and environmental safety in

industry, construction and urban economy: proceedings of the I International scientific conference, Makeyevka, 16 Feb. 2023. – Makeyevka : Donbas. national academy of construction and architecture, 2023. – P. 248–251.

5. Makhsumov I.B. Technical and economic aspects of the use of renewable energy / I.B. Makhsumov, A.N. Davlatzoda, K.Sh. Shokirov // Energy: state and prospects of development: proceedings of the international scientific-practical conference, Dushanbe, 23 December 2024. – Dushanbe : Aprint, 2024. – P. 99–106.

6. IRENA – International Renewable Energy Agency. – URL : https://www.nrel.gov/analysis/assets/images/nrel-jisea-nicholson-box-plot.jpg (date of reference 21.03.2025).

7. Zhdaneev O.V. Recycling of Renewable Energy Waste. Alternative energy and ecology (ISJAEE) / O.V. Zhdaneev, T.V. Aleshkevich. – 2024. – № (5). – P. 68–92. – URL : https://doi.org/10.15518/isjaee.2024.05.068-092

8. Kirikovich A.Yu. Electricity accumulators and smart grids / A.Yu. Kirikovich; Scientific supervisor. E.A. Deryugina // Electrical Power Engineering and Electrical Engineering: Proceedings of the 79th Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates 'Actual Problems of Power Engineering' (Minsk, April, 2023). – Mn. : BNTU, 2023. – P. 162–165.

9. Makhsumov I.B. Assessment of stability and reliability of distributed generation systems based on renewable energy sources // Energy and Resource Saving in Heat Power Engineering and Social Sphere: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates, Scientists. – 2025. – Vol. 13. – № 1. – P. 48–50.

10. Renewables 101: Integrating Renewable Energy Resources into the Grid. – URL : https://www.rff.org/publications/explainers/renewables-101-integrating-renewables (date of reference 21.03.2025).