

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ/ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61>

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕТРЯНОЙ И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ЧАСТНЫХ ДОМОВ В США

Научная статья

Высоких Д.Д.^{1,*}

¹ORCID : 0009-0002-6266-1915;

¹Сибирский федеральный университет, Саяногорск, Российская Федерация

¹Филиал ПАО РусГидро Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного, Саяногорск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (darya_vysokih01[at]mail.ru)

Аннотация

В современном мире особое внимание уделяется экологии, что приводит к активному переходу на возобновляемые источники энергии. США занимает лидирующую позицию в этом направлении не только благодаря своей экономической мощи, позволяющей внедрять новые энергетические мощности, но и из-за значительных природных ресурсов, благоприятных для развития ВИЭ. Внедрение возобновляемых источников энергии необходимо не только на промышленных объектах и в масштабных инфраструктурных проектах, но и на уровне частных домовладений. В данной работе проведен сравнительный анализ эффективности ветровой и солнечной электростанций в регионе, где отсутствует явное преобладание ветрового потока или солнечной радиации. Рассматриваются ключевые экономические, технические и экологические аспекты, влияющие на выбор той или иной технологии для частных пользователей.

Ключевые слова: ветровая энергия, солнечная энергия, возобновляемые источники энергии, частные домовладельцы, рентабельность.

COMPARATIVE ANALYSIS OF WIND AND SOLAR ENERGY FOR PRIVATE HOUSEHOLDS IN THE UNITED STATES

Research article

Visokikh D.D.^{1,*}

¹ORCID : 0009-0002-6266-1915;

¹Siberian Federal University, Sayanogorsk, Russian Federation

¹Branch of JSC "RusHydro" "Sayano-Shushenskaya HPP named after P.S. Neporozhny", Sayanogorsk, Russian Federation

* Corresponding author (darya_vysokih01[at]mail.ru)

Abstract

In the modern world, special attention is paid to ecology, which is leading to an active transition to renewable energy sources. The United States is a leader in this area, not only because of its economic power, which allows it to introduce new energy capacities, but also because of its significant natural resources, which are favourable for the development of renewable energy sources. The introduction of renewable energy sources is necessary not only at industrial facilities and in large-scale infrastructure projects, but also at the level of private households. This paper provides a comparative analysis of the efficiency of wind and solar power plants in a region where there is no clear predominance of wind flow or solar radiation. Key economic, technical and environmental aspects influencing the choice of a particular technology for private users are discussed.

Keywords: wind energy, solar energy, renewable energy sources, private homeowners, cost-effectiveness.

Введение

США является лидером стран, которые намерены выполнить переход от традиционных на возобновляемые источники энергии. За последние десятилетия доля всех возобновляемых источников энергии в США увеличилась на 31% [4]. На рисунке 1 представлен прирост мощностей в солнечной и ветровой энергетике в США с 2010 по 2023 год [6, С. 145–163]. Видно, что солнечная энергия за последние годы демонстрирует стремительный рост, в то время как ветроэнергетика также стабильно увеличивает свою долю. По сообщениям Управления Энергетической Информацией США (EIA) в 2024 году ветряные и солнечные станции 7 месяцев подряд выдавали больше энергии чем угольные станции. Для сравнения в апреле прошлого года только ветряные станции выработали 47,7 ГВт · ч по сравнению с тем, что угольные станции выработали 37,2 ГВт · ч [5, С. 87].



Рисунок 1 - Прирост мощностей в солнечной и ветровой энергетике в США с 2010 по 2023 год
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61.1>

Возобновляемые источники энергии набирают популярность не только в промышленных масштабах, но и в частных домах. Домовладельцы переходят на возобновляемые источники энергии, стремясь снизить затраты на электроэнергию [2, С. 349]. Наиболее популярные решения: ветровые установки и солнечные батареи. Выбор зависит от множества факторов, включая климатические особенности, условия размещения и стоимость. В данной статье проводится всесторонний сравнительный анализ указанных технологий с учетом научных данных и современных исследований в области энергетики.

Уровень солнечной инсоляции и скорость ветра в месте установки

Малые ветрогенераторы для частного использования представляют собой установки мощностью от 1 до 10 кВт, предназначенные для автономного или комбинированного электроснабжения индивидуальных жилых домов, фермерских хозяйств и удалённых объектов инфраструктуры. Такие установки, как правило, используются в районах с ограниченным доступом к централизованным электрическим сетям либо в качестве дополнительного источника энергии с целью снижения затрат на электроэнергию и повышения энергетической независимости потребителей.

Наиболее благоприятными регионами для их эксплуатации являются центральные штаты США (Айова, Северная и Южная Дакота, Небраска), а также прибрежные зоны Атлантического и Тихоокеанского побережья, для которых характерны устойчивые воздушные потоки и высокие среднегодовые скорости ветра [10, С. 31]. Наличие стабильного ветрового ресурса в данных регионах обеспечивает более высокий коэффициент использования установленной мощности малых ветрогенераторов и повышает экономическую эффективность их применения.

Подробное распределение ветрового потенциала по регионам США, включая показатели среднегодовой скорости ветра и зональную классификацию территорий по пригодности для размещения ветроэнергетических установок, представлено на рисунке 2 [8].

Согласно данным Национальной лаборатории возобновляемой энергии США (NREL), наибольшая рентабельность эксплуатации таких установок достигается при средней скорости ветра выше 5 м/с на высоте установки турбины [3, С. 15]. При благоприятных условиях коэффициент полезного действия (КПД) малых ветрогенераторов может достигать 40%, что делает их эффективным источником автономной электроэнергии в ветрообеспеченных регионах.

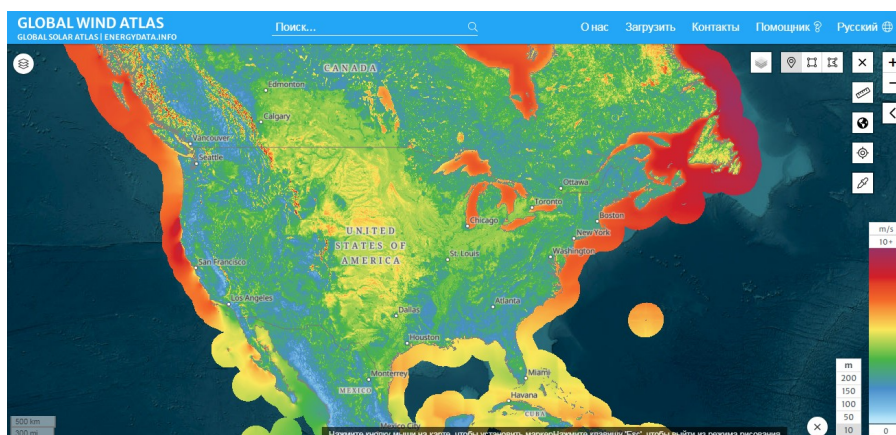


Рисунок 2 - Карта ветрового потенциала США
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61.2>

Солнечные панели представляют собой устройства, преобразующие солнечную энергию в электричество с использованием полупроводниковых материалов, преимущественно на основе кремния, за счёт фотоэлектрического эффекта. В процессе работы солнечные модули напрямую преобразуют поток солнечного излучения в электрический ток постоянного напряжения, который в дальнейшем может использоваться для электроснабжения потребителей либо аккумулироваться в системах хранения энергии.

Наибольший потенциал солнечной генерации наблюдается в юго-западных штатах США (Калифорния, Аризона, Техас, Невада), где средняя суточная солнечная радиация превышает $5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$ в день [9, С. 4]. Высокий уровень инсоляции в данных регионах обусловлен климатическими особенностями, включая большое количество солнечных дней в году, низкую облачность и продолжительную продолжительность светового дня, что способствует стабильной и предсказуемой выработке электроэнергии солнечными электростанциями.

Подробное распределение солнечного потенциала по регионам США, а также картографическая оценка уровней инсоляции и их сезонной изменчивости представлены на рисунке 3 [7].

Современные фотоэлектрические панели обладают номинальным КПД в пределах 18–24%, однако при недостаточном освещении (например, в облачную погоду или при затенении) их эффективность значительно снижается. Это особенно актуально для северных широт и регионов с высокой облачностью, где годовая генерация солнечных станций может быть ниже среднестатистических значений.

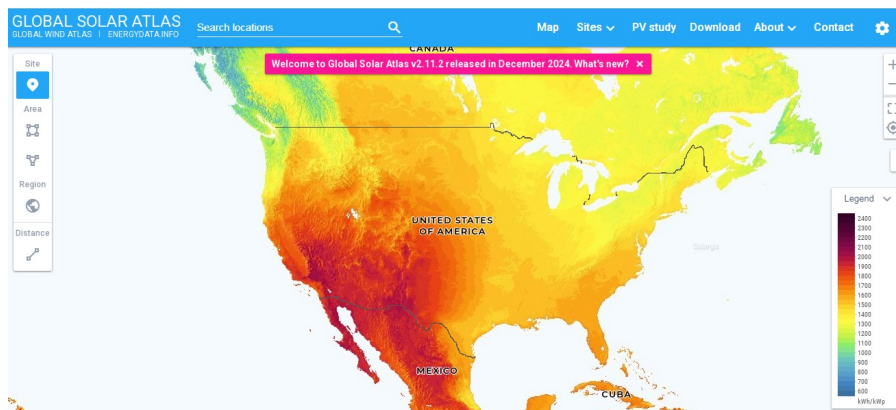


Рисунок 3 - Карта солнечного потенциала США
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61.3>

Экономическая оценка

Для оценки и сравнения выберем штат в США, в котором не преобладает потенциал для солнечной или ветряной генерации. Иллинойс.

Выполним годовой расчет генерации энергии для двух источников, согласно методике представленной [1, С. 137].

Для солнечной генерации:

$$W_{sol} = R \cdot d \cdot N_{sol} \cdot \eta_{sol} = 4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2} \cdot 365 \text{ дней} \cdot 5 \text{ кВт} \cdot 0,24 = 1752 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где W_{sol} — годовая генерация энергии от солнечной панели, кВт · ч;

R — среднегодовая солнечная радиация, кВт · ч / м²;

d — количество дней в году;

N_{sol} — установленная мощность батареи, кВт;

η_{sol} — КПД солнечной батареи.

Для ветровой генерации:

$$W_{win} = N_{win} \cdot d \cdot h \cdot \eta_{win} = 5 \text{ кВт} \cdot 365 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} \cdot 0,4 = 17520 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где W_{win} — годовая генерация энергии от ветрогенератора, кВт · ч;

N_{win} — установленная мощность ветряка, кВт;

d — количество дней в году;

h — количество часов в сутках;

η_{win} — КПД ветряка.

Расчет годовой экономии:

$$E_{sol} = W_{sol} \cdot S = 1752 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot \$0,14 = 245,3 \text{ USD},$$

где W_{sol} — годовая генерация энергии от солнечной панели, кВт · ч;

S — стоимость 1 кВт · ч, \$.

$$E_{win} = W_{win} \cdot S = 17520 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot \$0,14 = 2452,8 \text{ USD}$$

Расчет срока окупаемости:

$$T_{sol} = \frac{K_{sol}}{E_{sol}} = \frac{15000}{245,3} = 61 \text{ год},$$

где K_{sol} — затраты на установку системы, \$;

E_{sol} — годовая экономия, \$;

$$T_{win} = \frac{K_{win}}{E_{win}} = \frac{30000}{2452,8} = 12 \text{ лет},$$

где K_{win} — затраты на установку системы, \$;

E_{win} — годовая экономия, \$.

Сведем полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1 - Сравнение солнечной и ветровой энергии для штата Иллинойс, США

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61.4>

Параметр	Солнечная станция	Ветровая станция
Среднегодовая выработка, кВт · ч	1752	17520
Средняя годовая экономия, USD	245,3	2452,8
Срок окупаемости, лет	61	12
Влияние на экологию	Редкоземельные материалы для производства панелей, сложная утилизация панелей	Шум от работы лопастей, влияние на птиц и летучих мышей

Как показали расчёты, установка ветряной станции является более выгодной по сравнению с солнечными панелями, поскольку она способна генерировать электроэнергию круглосуточно, независимо от времени суток. Однако ветряные установки требуют большего пространства и регулярного технического обслуживания, что может стать ограничивающим фактором для частных домовладельцев.

Тем не менее, срок окупаемости обеих установок остаётся экономически нецелесообразным, что делает внедрение возобновляемых источников энергии в регионах с умеренным уровнем ветра и солнечной радиации малопривлекательным для частных домовладельцев. Высокая стоимость первоначальных инвестиций остаётся ключевым барьером, препятствующим массовому внедрению автономных систем солнечной и ветровой генерации.

Решить данную проблему возможно на законодательном уровне путём расширения государственных субсидий, налоговых льгот и программ поощрения для частных домовладельцев, желающих установить системы ВИЭ.

Увеличение налоговых льгот и грантов:

- Увеличение федеральных кредитов для частных лиц, включив туда не только солнечные батареи, но и ветровые установки.

- Предоставление безвозвратных грантов и льготных кредитов на цели покупки и установки необходимого оборудования.

- Введение дополнительных налоговых льгот для домовладельцев, имеющих ВИЭ-установки.

Компенсация за избыточную энергию:

- Разрешить домовладельцам продавать избыточную энергию в сеть по приемлемой цене.

- Упростить процедуры для подключения частных ВИЭ-установок к энергосетям.

Изменение бюрократических процедур:

- Упростить бюрократические процедуры, разрешающие установку частных ветряных турбин, особенно в сельских районах.

- Введение единых стандартов и правил для установки ВИЭ-установок.

Заключение

Для перехода на экологически чистые возобновляемые источники энергии развитие на уровне частных домовладельцев просто необходимо. Однако, как показал сравнительный анализ, установка ветряных и солнечных электростанций в регионах без ярко выраженного ветрового или солнечного потенциала остаётся экономически невыгодной. Ветровые установки способны работать круглосуточно, но их установка и обслуживание более дорогое и требует больших трудозатрат. Когда как солнечные панели более дешёвые и их установка не требует дополнительного пространства, но они могут работать только в световой день.

Для увеличения рентабельности ВИЭ установок необходимы меры по поддержке от государства. Субсидии, гранты, сниженные налоги, программы стимулирования и поощрения.

Таким образом, чтобы сделать ВИЭ установки более выгодными и привлекательными для населения необходимы не только технологические улучшения, но и всесторонняя поддержка от государства.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61.4>

Review

International Research Journal Reviewers Community

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.163.61.4>

Список литературы / References

1. Городов Р.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Р.В. Городов, В.Е. Губин, А.С. Матвеев. — Томск: Томский политехнический университет, 2009. — 294 с.
2. World Energy Outlook 2023 / International Energy Agency. — Paris: OECD/IEA, 2023. — 462 p.
3. Annual Technology Baseline (ATB) 2023 / US National Renewable Energy Laboratory (NREL). — Washington: NREL, 2023. — 157 p.
4. 2022 Renewable Energy Data Book / U.S. Department of Energy (DOE). — Washington: U.S. Department of Energy, 2022. — 98 p.
5. Levelized Cost of Electricity Report 2023 / US Energy Information Administration (EIA). — Washington: U.S. Energy Information Administration, 2023. — 134 p.
6. Renewable Energy Statistics 2023 / International Renewable Energy Agency (IRENA). — Abu Dhabi: IRENA, 2023. — 256 p.
7. Data on solar potential by US region // Global Solar Atlas. — 2023. — URL: <https://globalsolaratlas.info> (accessed: 08.03.25)
8. Data on the US wind potential at an altitude of 100 m // Global Wind Atlas. — 2023. — URL: <https://globalwindatlas.info> (accessed: 08.03.25)
9. U.S. Solar Market Insight Report 2023 / Solar Energy Industries Association (SEIA). — Washington: SEIA, 2023. — 74 p.
10. Wind Energy Market Report 2023 / American Wind Energy Association (AWEA). — Washington: AWEA, 2023. — 82 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gorodov R.V. Netradicionny'e i vozobnovlyaemy'e istochniki e'nergii: uchebnoe posobie [Unconventional and renewable energy sources: a study guide] / R.V. Gorodov, V.E. Gubin, A.S. Matveev. — Tomsk: Tomskij politexnicheskij universitet, 2009. — 294 p. [in Russian]
2. World Energy Outlook 2023 / International Energy Agency. — Paris: OECD/IEA, 2023. — 462 p.
3. Annual Technology Baseline (ATB) 2023 / US National Renewable Energy Laboratory (NREL). — Washington: NREL, 2023. — 157 p.
4. 2022 Renewable Energy Data Book / U.S. Department of Energy (DOE). — Washington: U.S. Department of Energy, 2022. — 98 p.
5. Levelized Cost of Electricity Report 2023 / US Energy Information Administration (EIA). — Washington: U.S. Energy Information Administration, 2023. — 134 p.
6. Renewable Energy Statistics 2023 / International Renewable Energy Agency (IRENA). — Abu Dhabi: IRENA, 2023. — 256 p.
7. Data on solar potential by US region // Global Solar Atlas. — 2023. — URL: <https://globalsolaratlas.info> (accessed: 08.03.25)
8. Data on the US wind potential at an altitude of 100 m // Global Wind Atlas. — 2023. — URL: <https://globalwindatlas.info> (accessed: 08.03.25)
9. U.S. Solar Market Insight Report 2023 / Solar Energy Industries Association (SEIA). — Washington: SEIA, 2023. — 74 p.
10. Wind Energy Market Report 2023 / American Wind Energy Association (AWEA). — Washington: AWEA, 2023. — 82 p.