

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА**

Жураева Камила Комиловна

*и.о. профессор кафедры “Электроснабжение” Ташкентского государственного
транспортного университета*

Рузибоева Угилжон Муминбой кизи

Магистр Ташкентского государственного транспортного университета

Тоштемирова Рухшона Бахтиёр кизи

Студентка Ташкентского государственного транспортного университета

**ИНФОРМАЦИЯ О
СТАТЬЕ**

АННОТАЦИЯ:

ИСТОРИЯ СТАТЬИ:

Received: 09.03.2026

Revised: 10.03.2026

Accepted: 11.03.2026

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА:**

*ветроэнергетическая
установка,
возобновляемые
источники энергии,
кинетическая энергия
ветра, коэффициент
использования энергии
ветра.*

*В статье рассмотрены вопросы
повышения энергоэффективности
ветроэнергетических установок в условиях
Республики Узбекистан. Проанализированы
климатические особенности региона и их
влияние на работу ветровых турбин.
Представлены теоретические основы
преобразования кинетической энергии ветра
в электрическую энергию и выполнена
расчётная оценка мощности ветрового
потока и среднегодовой выработки
электроэнергии. Обоснованы направления
повышения эффективности эксплуатации
ветроэнергетических систем.*

Введение

Современное развитие энергетического сектора Республики Узбекистан направлено на диверсификацию источников энергоснабжения и увеличение доли возобновляемых источников энергии в национальном энергобалансе [1]. В условиях роста промышленного производства, урбанизации и увеличения потребления

электроэнергии возникает необходимость поиска устойчивых и экологически безопасных решений.

Одним из перспективных направлений является использование энергии ветра. Географическое положение Узбекистана, особенности рельефа и климатические условия способствуют формированию устойчивых ветровых потоков в ряде регионов страны. Среднегодовые скорости ветра в отдельных районах достигают 5–7 м/с, что соответствует требованиям для промышленного использования ветроэнергетических установок [2].

Однако эффективность ветроэнергетических систем определяется не только наличием ветрового потенциала, но и правильным выбором технических параметров установки, аэродинамических характеристик ротора, высоты башни и типа электрического генератора. Поэтому актуальной задачей является проведение расчётного анализа энергоэффективности ветроэнергетических установок с учётом физических закономерностей преобразования энергии ветра.

Научная новизна исследования заключается в комплексной оценке энергоэффективности ветроэнергетической установки с учётом климатических условий Республики Узбекистан и количественном анализе влияния скорости ветра на выходную мощность и годовую выработку электроэнергии. В работе показана высокая чувствительность энергоэффективности ветроустановок к изменению скорости ветра, что имеет практическое значение при выборе параметров проектирования и размещения ветроэнергетических объектов.

Постановка задачи

Целью исследования является определение энергетической эффективности ветроэнергетической установки, работающей в условиях средней скорости ветра 6 м/с, характерной для ряда регионов Узбекистана.

Для достижения поставленной цели необходимо: Определить мощность ветрового потока, проходящего через ометаемую площадь ротора; рассчитать фактическую мощность ветроустановки с учётом коэффициента использования энергии ветра; оценить среднегодовую выработку электроэнергии; проанализировать влияние изменения скорости ветра на выходную мощность установки.

Решение задачи

Ветер обладает кинетической энергией, которая определяется выражением:

$$E = \frac{mV^2}{2}$$

где: m - масса воздушного потока, V - скорость ветра.

Масса воздуха, проходящего через ометаемую площадь ротора за единицу времени, определяется как:

$$m = \rho SV$$

где: ρ - плотность воздуха; S - площадь, ометаемая ротором.

Тогда мощность ветрового потока (энергия в единицу времени) определяется:

$$P_{\text{п}} = \frac{\rho SV^3}{2}$$

Данная зависимость является базовой в теории ветроэнергетики [3,4].

Из последнего выражения видно, что мощность пропорциональна кубу скорости ветра, что является ключевой особенностью ветроэнергетики. Даже незначительное увеличение скорости ветра приводит к существенному росту мощности.

Однако полностью преобразовать энергию ветрового потока невозможно. Теоретический предел использования энергии ветра определяется законом Беца и составляет около 59% [5]. На практике коэффициент использования энергии ветра ($K_{\text{изв}}$) современных турбин находится в пределах 0,4–0,5 в зависимости от конструкции и аэродинамических характеристик установки [6,7].

Полезная мощность установки:

$$P_{\text{взУ}} = \frac{\rho SV^3}{2} \cdot K_{\text{изв}} \cdot \eta$$

где η - КПД генератора.

Для наглядного подтверждения полученной зависимости на рисунке 1 представлен график изменения мощности ветроэнергетической установки в зависимости от скорости ветра.

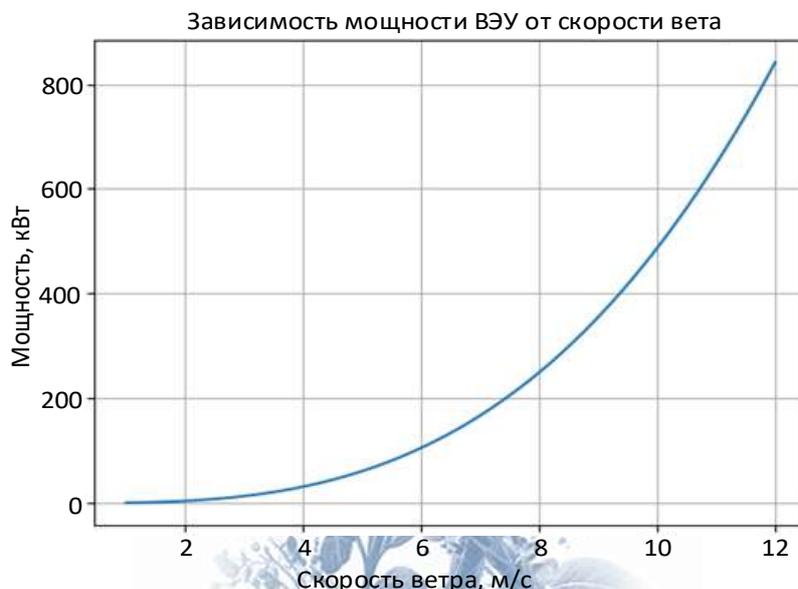


Рис 1. Зависимость мощности ветроэнергетической установки от скорости ветра.

Как видно из рисунка 1, мощность ветроэнергетической установки возрастает нелинейно и имеет ярко выраженную кубическую зависимость от скорости ветра. В диапазоне малых скоростей (1–4 м/с) мощность незначительна, однако при увеличении скорости до 6–8 м/с наблюдается резкий рост выработки энергии.

Данный результат подтверждает целесообразность размещения ветроэнергетических установок в районах со среднегодовой скоростью ветра не ниже 5–6 м/с, характерной для отдельных регионов Республики Узбекистан.

Расчётная часть

Пусть диаметр ротора $D = 50$ м; $\rho = 1,225$ кг/м³; $V = 6$ м/с; $K_{иэв} = 0,45$; $\eta = 0,9$, тогда площадь ротора: $S = \frac{\pi D^2}{4}$

$$S = \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} = 1962,5 \text{ м}^2$$

мощность ветрового потока: $P_{п} = \frac{\rho S V^3}{2}$

$$P_{п} = \frac{1,225 \cdot 1962,5 \cdot 6^3}{2}$$

$$P_{п} \approx 259 \text{ кВт}$$

полезная мощность установки: $P_{ВЭУ} = P_{п} \cdot K_{иэв} \cdot \eta$

$$P_{ВЭУ} = 259 \cdot 0,45 \cdot 0,9$$

$$P_{\text{ВЭУ}} \approx 105 \text{ кВт}$$

годовая выработка энергии: $W = P_{\text{ВЭУ}} \cdot 8760$

$$W \approx 919800 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Полученный результат показывает, что при средней скорости ветра 6 м/с установка способна обеспечивать выработку энергии около 0,92 млн кВт·ч в год.

Заключение

Проведённый теоретический и расчётный анализ подтвердил перспективность использования ветроэнергетических установок в условиях Республики Узбекистан. Установлено, что определяющим фактором энергоэффективности является скорость ветра, поскольку мощность ветрового потока пропорциональна кубу её значения. Даже незначительное изменение скорости приводит к существенному росту или снижению вырабатываемой мощности.

Расчётная оценка показала, что при средней скорости ветра 6 м/с ветроэнергетическая установка с диаметром ротора 50 м способна обеспечивать годовую выработку порядка 0,9 млн кВт·ч, что подтверждает целесообразность её применения в регионах со среднегодовой скоростью ветра не ниже 5–6 м/с.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании и технико-экономическом обосновании ветроэнергетических объектов в условиях Узбекистана. Представленные расчётные зависимости могут быть использованы при выборе параметров ротора, высоты установки и типа генератора.

Перспективным направлением дальнейших исследований является учёт распределения скоростей ветра по закону Вейбулла, анализ сезонной изменчивости ветровых потоков и интеграция ветроэнергетических установок в гибридные энергосистемы.

Список литературы

1. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. *Wind Energy Handbook*. – 2nd ed. – Chichester: Wiley, 2011.
2. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. – 2nd ed. – Wiley, 2010.

3. Жураева К.К., Рузибоева У.М. Построение умного дома на основе альтернативных источников энергии. «O‘ZBEKISTONDA ENERGETIKA TIZIMINING DOLZARB MUAMMOLARI, YECHIMLARI VA RIVOJLANTIRISH ISTIQBOLLARI» mavzusida Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallar to‘plami. Andijan 2025yil 22-dekabr. С. 450-452.

4. Hau E. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. – Springer, 2013.

5. Betz A. *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen*. – Göttingen, 1926.

6. Twidell J., Weir T. *Renewable Energy Resources*. – 3rd ed. – Routledge, 2015.

7. Жураева К.К., Рузибоева У.М. Совершенствование конструкций ветроэнергетических установок для объектов железнодорожного транспорта. Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации, 2026, №1. С. 6-11.

