

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

К.А. Сарыев

Научно-производственный центр «Возобновляемые источники энергии»

Государственного энергетического института Туркменистана,

г. Мары, Туркменистан

kakageldisaryev@gmail.com

**Резюме:** *ЦЕЛЬ.* Изучая комплексные вопросы связанные с обеспечением потребителей, находящихся вдали от центральной системы электроснабжения экологически безопасным возобновляемым источником энергии, т. е. преобразованием энергии ветра в электрическую и бесперебойной подачей электроэнергии потребителям. В этой сфере одним из сложных вопросов является определение ресурсов ветровой энергии в районе, где планируется установка ветряной электростанций.

*В статье рассматривается вопрос по определению ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане. Используя базы данные полученные по метеостанциям в течении нескольких лет, выполняются расчеты ветроэнергетических ресурсов по регионам. Это позволит оперативно и подробно анализировать ветроэнергетический потенциал в той или иной области для проведения оценки выбора мощности проектируемого ветровых установок, целью обеспечения устойчивого развития региона и надёжностью электроснабжения.*

*МЕТОДЫ.* Для оценки ветроэнергетических ресурсов в районе необходимо определить, среднюю скорость ветра в год. В данной научной работе были использованы полученные среднегодовые скорости ветра из метеорологических станций установленные в различных областях Туркменистана. Эти данные были сопоставлены с фактическими данными полученными из ветроэлектростанции мощностью 2 кВт, установленной на научно-исследовательской площадке Государственного энергетического института Туркменистана, и построены соответствующие графики. Результаты полученных данных можно использовать для оптимального выбора мест установки ветряной электростанций и оценки ветроэнергетических ресурсов данного региона. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** В результате проведенных расчетов были определены запасы энергии ветра в регионе и для областей Туркменистана, а также определены оптимальные местоположения ветряных электростанций. Используя технические характеристики ветряной электростанции мощностью 2кВт, определена среднегодовая выработка электроэнергии, вырабатываемая ветроэлектростанцией различной мощности.

*При правильном определении ветроэнергетического потенциала, имеется возможность решить энергетические, экономические, экологические и социальные вопросы страны. А также возникает возможность для смягчения изменения климата на основе ветроэнергетических установок, и их ресурсы, экологические выгоды, цели и задачи на научно методических основах в области ветроэнергетики для реализации государственных программ по энергосбережению в Туркменистане и энергообеспечению региона.*

*ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* На основе выполненной научной работы определены ветроэнергетические ресурсы и технические потенциалы ветряной электростанций на территории Туркменистана, а также создана база данных для составления ветроэнергетического кадастра.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, чистая энергия, энергетическая революция, альтернативная энергия, увеличение спроса на энергию, истощение запасов

**Для цитирования:** Сарыев К.А. Определение ветроэнергетических ресурсов в Туркменистане // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 6. С. 143-154. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-143-154.

## DETERMINING WIND ENERGY RESOURCES IN TURKMENISTAN

K.A. Saryyev

State energy institute of Turkmenistan scientific–production  
center on «Renewable energy resources»,  
Mary, Turkmenistan  
kakageldisaryyev@gmail.com

**Abstract: THE PURPOSE.** Studying the complex issues associated with providing consumers who are away from the central power supply system with environmentally safe renewable energy source, i.e. conversion of wind energy into electrical energy and uninterrupted supply of electricity to consumers. In this area, one of the complex issues is to determine the wind energy resources in the area where it is planned to install a wind farm.

The article deals with the determination of wind energy resources in Turkmenistan. Using databases obtained from meteorological stations over several years, calculations of wind energy resources by region are carried out. This will quickly and in detail analyze the wind energy potential in a particular area to assess the choice of capacity of the projected wind turbines, with the aim of ensuring sustainable development of the region and the reliability of electricity supply.

**METHODS.** In order to estimate the wind energy resources in the area it is necessary to determine the average wind speed per year. In this research work the average annual wind speeds obtained from meteorological stations installed in different regions of Turkmenistan were used. These data were compared with the actual data obtained from the 2 kW wind power plant installed at the research site of the State Energy institute of Turkmenistan and the relevant graphs were built. The results of the obtained data can be used for optimal selection of wind power plant locations and assessment of wind energy resources of the region. **RESULTS.** As a result of the calculations, wind energy reserves in the region and for the regions of Turkmenistan were determined, as well as the optimal locations of wind farms. Using the technical characteristics of a 2kW wind power plant, the average annual electricity output of a wind power plant of different capacity is determined.

With the correct definition of wind energy potential, there is an opportunity to solve energy, economic, environmental and social issues of the country. And also there is an opportunity to mitigate climate change on the basis of wind energy installations, and their resources, environmental benefits, goals and objectives on the scientific methodological basis in the field of wind energy for implementation of state programs for energy conservation in Turkmenistan and energy supply of the region.

**CONCLUSIONS.** On the basis of the carried out scientific work the wind energy resources and technical potentials of wind power plants in the territory of Turkmenistan were determined and the database for compiling the wind energy cadastre was created.

**Keywords:** renewable energy sources, clean energy, energy revolution, alternative energy, increasing energy demand, depletion of reserves.

**For citation:** Saryyev KA. Determining wind energy resources in Turkmenistan. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(6):143-154. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-143-154.

### Введение. Актуальность проблемы

Туркменистан – государство в Центральной Азии, расположен между 35° 08' и 42° 48' северной широты и 52° 27' и 66° 41' восточной долготы, севернее гора Копетдага, между Каспийским морем на западе и рекой Амударья на востоке. Протяженность с запада на восток - 1110 км, с юга на север - 650 км. Площадь государства - 491,2 тыс. кв. км. На севере он граничит с Казахстаном и на севере и юго-востоке Узбекистаном, на юге - с Ираном и Афганистаном.

В административном отношении Туркменистан подразделяется на пять велаятов (областей) - Дашаогуз, Лебап, Мары, Ахал и Балкан; 57 этрапов (районов), 25 городов и 77 поселков городского типа. Средняя плотность населения по стране составляет 11,5 человек на 1 кв. км. Большая часть населения (54,0%) проживает в сельской местности. Доля городского населения равна 46,0%.

В своих выступлениях Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов

неоднократно подчеркивает о рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), представляющую собой одну из глобальных мировых проблем, успешное ее решение имеет определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания – биосферы. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные, т.е. возобновляемые источники энергии.

Уважаемый Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов 4-го декабря 2020-го года принял «Национальную стратегию развития возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года» указом №2007. В национальной стратегии предусматривается разработки для улучшения ситуации и развития отрасли, а также для достижения целей Парижского соглашения об устойчивом развитии и изменение климата [1-3].

В настоящее время страна ориентирована на использование возобновляемых источников энергии. Изучение возможностей производства электроэнергии на основе использования возобновляемых источников энергии было предусмотрено Концепцией и проводилось в период с 2013 по 2020 годы.

По результатам исследований, проведенных в 2020 году, были сосредоточены на эффективном использовании возобновляемых источников энергии, повышении энергоэффективности, обеспечении энергетической безопасности Туркменистана, внедрении энергосберегающих инновационных технологий в различных секторах национальной экономики и содействии их внедрению. В данное время разработан проект Закона Туркменистана «О возобновляемых источниках энергии», а также разрабатываются соответствующие нормативные правовые акты.

Целями и приоритетами страны в области изменения климата на 2030 год являются: сокращение количества энергии, потребляемой и производимой  $\text{CO}_2$  в единице валового внутреннего продукта. Цель на 2030 год, которая зависит от выполнения дополнительных условий, остановить рост парниковых газов и по возможности, замедлить рост в этой сфере.

Общие мировые принципы включают в себя повышенное потребление энергии, в первую очередь, потребления электрической энергии, риск истощения традиционных ископаемых видов топлива, и их текущее потребление. Возникающая глобальная проблема от эффекта антропогенного воздействия на природу возникает необходимость развития использования возобновляемых источников энергии и по сути делает его практически не имеющим аналогов. Кроме того, на развитие возобновляемых источников энергии влияют такие факторы, как сокращение затрат на возобновляемые источники энергии, улучшение качества воздуха, универсализация доступности энергии, повышение энергетической безопасности, социально-экономические выгоды. Возобновляемые источники энергии стремительно развиваются во всем мире. Прогресс в мире от использования возобновляемых источников энергии по-прежнему сосредоточен в энергетическом секторе, но в то же время наблюдается прогресс в области транспорта, теплоснабжения и холодоснабжения, т.к. солнечные коллекторы имеют больше КПД чем у солнечных панелей [3].

Проектные работы, направленные на строительство ветряных электростанций различной мощности, а также на производство и использование энергии ветра, требуют ответственного подхода со стороны руководителей проекта. В зависимости от условия местоположения ветряной электростанции, определяется возможность бесперебойного снабжения станции источниками энергии ветра и измерением скорости ветра. Таким образом, при небольшом увеличении средней скорости ветра можно значительно увеличить количество производимой энергии. Именно этот показатель (средняя скорость ветра) оказывает наибольшее влияние на финансовую и экономическую эффективность проекта.

Около 40% территории Туркменистана считается выгодным для использования энергии ветра. Использовать энергию ветра удобнее в северо-западных районах, где средняя скорость ветра в течение года превышает 4 м/с. На северных берегах Каспийского моря удельный воздушный поток высок и составляет  $110-135 \text{ Вт/м}^2$ . Потенциал энергии ветра считается очень высоким в направлении Балкан-Копетдаг, и его значение также составляет  $150 \text{ Вт/м}^2$ . Удельная энергия ветра между центральными областями и северной границей составляет не более  $100 \text{ Вт/м}^2$ . В целом, ветровой потенциал составил 5,5 млрд. т, у.т. [1,3].

В 2019 году производство энергии от возобновляемых источников энергии достигло 7182 ТВт·ч/час, что составляет 27% от общего производства энергии в мире [4].

Ветровая энергия - наиболее дешевый ресурс из возобновляемых источников. В местах с хорошими ветровыми условиями она успешно конкурирует с традиционными топливными и атомными электро-станциями. В отдельных странах (Германия, Дания,

Испания, Индия и отчасти США) она превратилась в самостоятельную отрасль. Все проекты по производству ветровой энергии делятся на два вида, исходя из расположения ветрогенерирующих турбин: оффшорные и материковые. Если материковые ветроустановки расположены на суше, то оффшорные ветряные фермы занимают место в море, используя все преимущества открытого и удаленного пространства.

Исходя из вышеизложенного, выбор площадок для установки ветровых электростанций и оценки ресурсов энергии ветра на территории Туркменистане прежде всего необходимо решить некоторые важные вопросы связанной с проектированием. Для решения этой важной задачи необходимо определить среднегодовые скорости ветра (на разных высотах), годовые и суточные направления ветра, повторения скорости ветра, а также минимальной и максимальной скорости ветра планирующем районе, в котором будет осуществляться проект.

#### **Распределение удельной мощности ветрового потока на территории Туркменистана**

Для фонового районирования равнинных территорий по удельной мощности ветрового потока используются данные метеостанций, расположенных в открытой местности на плоских или выпуклых формах рельефа (классы открытости по Милевскому - 6б и выше). В соответствии с этим принципом для районирования Туркменистана было отобрано около 72 метеостанций и выведены районы, соответствующие следующим шести диапазонам удельной мощности ветра, Вт/м<sup>2</sup>, на высоте 10 м: 1) <75, 2) 75-125, 3) 125-250, 4) 250-500, 5) 500-1000, 6) 1000-1500. Составление карты ветроэнергетического потенциала позволяет определить удельную ветровую энергию на ровной открытой местности. Если же ставить целью размещение ветроэлектрических установок в энергетически более благоприятных условиях, например, на верхних частях склона, то следует ввести поправки, учитывающие форму рельефа местности [5-7].

#### **Валовый потенциал ветровой энергии**

Исходя из общего определения валового потенциала возобновляемых источников энергии, можно сформулировать следующее определение для ветровой энергии. Валовый (теоретический) потенциал ветровой энергии региона - это среднееголетняя суммарная ветровая энергия, движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования.

В отличие от других возобновляемых источников энергии, например, солнечной, в определение валового потенциала ветровой энергии входит условие возможности ее использования, поскольку ветер хотя и занимает огромные объемы в атмосфере Земли над регионом, но практически возможно использовать только малую часть общего ресурса ветровой энергии. При этом требуется выработать согласованные принципы возможного использования энергии ветра и оценки соответствующих потенциальных возможностей региона. В современных научных разработках общепринятым принципом является использование энергии ветра на определенной высоте над поверхностью Земли [7].

Одним из основных видов альтернативных источников энергии является энергия ветра. По мнению мировых ученых, общее потенциальное количество источников энергии ветра варьируется в зависимости от их воздействия на все шесть континентов. Общий объем энергии ветра, доступной для технического использования, оценивается в 53 000 ТВт·ч в год. [5].

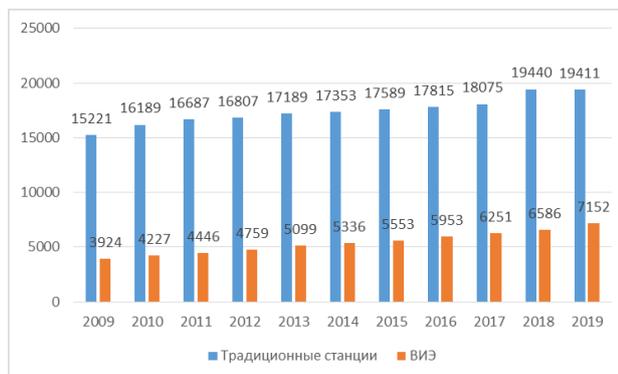


Рис.1. Динамика роста производства энергии, ТВт

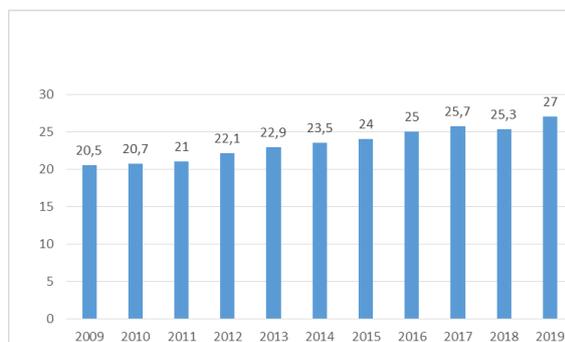


Рис.2. Доля выработанной электрической энергии от общего, %

В 2018 году во всем мире было введено ветровых электростанций с общей мощностью 59 ГВт, что привело к общему увеличению общей установленной мощности ветряных электростанций примерно на 11% по сравнению с показателем на начало 2018 года примерно до 622 ГВт [8-10].

Сегодняшний день с помощью ветроэнергетических установок широко используется для бесперебойного электроснабжения удаленных от центрального энергоснабжения деревень, включая различные энергопотребляющие объекты. Связи с этим в областях, которые соответствуют характеристикам ветра, описанным выше, электричество генерируется ветровыми установками, и используется прямое подключение к центральной сети. Сокращение количества вредных газов, выбрасываемых в окружающую среду на основе использования энергии ветра, также неразрывно связано с требованиями экономии энергоресурсов.

#### Материалы и методы

В целях обеспечения устойчивого развития в секторах экономики Туркменистана развитие альтернативной энергетики не только диверсифицирует запасы топлива и энергии, но также сократит выбросы углекислого газа и будет способствовать развитию инновационных технологий в промышленных секторах. С целью использования возобновляемых источников энергии, внедрения инновационных технологий, использования в жизненно важных системах современных энергосберегающих оборудования и материалов, принято с постановлением Президента Туркменистана от 21 февраля 2018 года №674 Государственная программа Об энергосбережении на 2018-2024 годы. В этой государственной программе учитывается выбор мест, для внедрения солнечной ветряной энергетической инфраструктуры в пределах Туркменистана в течение 2018-2021 годы и разработка солнечных и ветряных кадастр, а также оценка солнечных и ветряных энергетических ресурсов. Также с постановлением Президента Туркменистана от 12 апреля 2019 года № 1207 в рамках принятой концепции о развитии «Алтын-Асырского Туркменского озера на 2019-2025 годы» (первый этап 2019-2022 гг.; Второй этап 2022-2025- гг.). В рамках принятой концепции в первом этапе планируется строительство солнечной и ветряной электростанции мощностью 10 МВт, с целью защиты окружающей среды и внедрения экологически чистых «зеленых» технологий в стране [1,10].

В связи с этим для проведения необходимых расчетов в местностях где планируется строительство ветряных электростанций, возникает необходимость расширенных и точных информации для оценки ресурсов энергии ветра. Основательное изучение климатических особенностей в выбранном районе для преобразования ветряной энергии в электрическую остается главной задачей. Для этого ограничиваться полученной информацией от центральной метеорологических станций полученных минимум в течение года в регионах на разных высотах где планируется строительство электростанций недостаточно, в этом случае рекомендуется воспользоваться базой информации, спутника НАСА. Такие характеристики являются самыми важными задачами ветроэнергетической кадастре. В научной работе предлагается способ вычисления для оценки ветроэнергетических ресурсов и выбор местности для внедрения ветреную энергетических установок.

Ветроэнергетический кадастр представляет собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих выявить его энергетическую ценность и определить возможные режимы работы.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- 1 – среднегодовая скорость ветра;
- 2 – годовой и суточный ход ветра;

- 3 – повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- 4 – максимальная скорость ветра;
- 5 – распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- 6 – удельная мощность и удельная энергия ветра;
- 7 – ветроэнергетические ресурсы района.

Основной характеристикой ветра, которая определяет интенсивность и эффективное использование энергии ветра, является его средняя скорость за определенный период времени (день, ночь, месяц, год).

Валовой (теоретический) потенциал ветровой энергии района – это средне многолетняя суммарная ветровая энергия движения воздушных масс над данной территорией в течение одного года, которая доступна для использования [11-13].

При скоростях ветра ниже минимальной рабочей скорости  $V_{\text{мин.р}}$  мощности лопастей не хватает на преодоление сил трения в узлах ВЭУ. В диапазоне скоростей от  $V_{\text{мин.р}}$  до расчётной скорости ветра  $V_p$ , при которой ВЭУ развивает номинальную мощность  $N_n$ , использование энергии ветра осуществляется наиболее полно.

Среднегодовую скорость ветра можно определить по следующей формуле [12-14]:

$$V_{\text{ср.год}} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} V_{\text{мес}}$$

где:  $V_{\text{мес}}$  – средняя скорость ветра в месяц.

Вертикальный профиль ветрового потока определяется по формуле

$$V_{h_2} = V_{h_1} \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^m$$

где  $V_{h_1}$  – скорость ветра, измеренная на высоте 10 м, м/с;  $V_{h_2}$  – скорость ветра на высоте  $h_2$ ;  $m$  – показатель степени, 0,2 для Туркменистана, (в РФ–0,2, в США – 0,18)

Повторение скорости ветра является самым важным показателем в характеристике кадастры. Во время проведения проверки показывается на какой скорости ветер и за какое время оно изменяется. Использовать эти характеристики выводятся ветроэнергетические ресурсы также определяются продуктивность использования ветровой энергии и основные энергетические показатели которые определяют их возможность

Средняя оценка скорости ветра полученное за 2015-2020 годы в метеорологической станции города Мары (Таблица 1).

Таблица 1

Средняя оценка скорости ветра полученное за 2015-2020 годы

Годы	По месяцам, м/с												Среднегодовая, м/с
	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VIII	IX	X	XI	XII	
2015	3,2	3,7	3,3	3,6	3,4	3,0	4,1	3,2	2,8	3,2	3,3	3,1	3,3
2016	3,3	3,5	3,6	3,4	3,5	4,0	3,6	3,4	3,1	2,6	2,8	3,4	3,4
2017	3,1	3,5	3,6	4,0	3,4	3,9	3,9	3,2	2,7	3,0	2,7	3,1	3,3
2018	3,4	3,5	3,9	3,8	3,5	3,5	3,6	3,2	2,6	2,5	2,9	3,3	3,3
2019	3,8	3,3	3,6	3,7	3,4	2,9	3,5	3,5	3,1	2,0	2,4	2,7	3,2
2020	3,3	3,5	3,7	3,9	3,3	3,0	3,8	3,3	3,0	2,9	2,6	3,2	3,3

Повторение направление ветра за 2004-2018 года по метеорологическому станцию города Мары (Табл. 2).

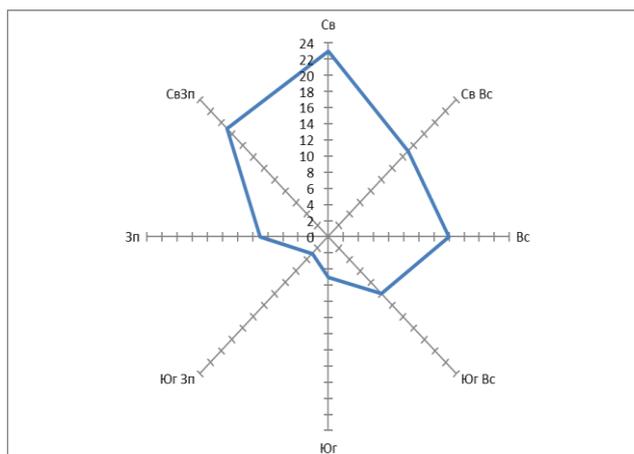


Рис.3. Направление ветра за 2004-2018 годы

Из рис.3 можно сказать, что направление ветра в период 2004-2018 годы в основном северный, северо-восточный.

При анализе возможностей использования энергии ветра наряду с рассмотренными выше данными о средних скоростях ветра и закономерностях повторяемости скоростей большое значение имеют данные возможной длительности периодов работы ВЭУ и периодов простоя (энергетических затиший).

Под рабочим периодом  $T_p$  понимается период времени, в течение которого скорость ветра больше минимальной рабочей скорости  $V_{\text{мин.р}} \approx 3\text{ м/с}$ , но меньше максимальной рабочей скорости  $V_{\text{макс.р}}$ , определяемой из условия обеспечения безопасности работы ВЭУ. Под периодом простоя  $T_{\text{пр}}$  понимается время, в течение которого скорость ветра меньше  $V_{\text{мин.р}}$  или больше  $V_{\text{макс.р}}$ . [14-15].

$$\sum_{t=1}^{n_1} T_p + \sum_{t=1}^{n_2} T_{\text{пр}} + \sum_{t=1}^{n_3} T_{\text{пр}} = T$$

где  $n_1$  – общее число рабочих периодов за год;  $n_2$  и  $n_3$  – число периодов простоя соответственно при скорости ветра меньше  $V_{\text{мин.р}}$  и больше  $V_{\text{макс.р}}$ ;  $T$  – число часов в году – 8760.

Для выполнения запланированного в Государственной программе проектных работ, на основе выше приведенных информации провадились относительные расчёты. На метеорологической станции марки «Davis Vantage Pro2 Pl» установленном в самостоятельно энергоснабжающем испытательном доме Государственного энергетического института Туркменистана (ГЭИТ), получены точные величины по интенсивности солнечной радиации, испарение через воды, влажность и температура воздуха, количество и темпы атмосферных осадков, определения направления и скорости ветра. В результате на основании проведенного расчета была определена среднегодовая мощность ветряной электростанции установленной в ГЭИТ мощностью 2 кВт. Также эти технические показатели ветряной электростанции мощностью 2 кВт использовались для оценке запасов ветровой энергии в регионах Туркменистана и при соответствующем месторасположении ветроэнергетических установок.



Рис. 4. Метеорологическая станция марки *Davis Vantage Pro2 Plus* установленная в самостоятельно энергообеспечивающемся испытательном доме Государственного энергетического института Туркменистана (ГЭИТ)

Среднюю мощность потока ветра для города Мары на  $1\text{ м}^2$  площади можно определить по следующей формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{(\rho \cdot S \cdot V_{\text{ср}}^3)}{2} = \frac{(1,225 \cdot 1 \cdot (3,3)^3)}{2} = 22,01\text{Вт}$$

где:  $\rho$  - плотность воздуха ( $1,225\text{ кг/м}^3$  при нормальных условиях);  $S$  - площадь поперечного сечения потока ветра (площадь поверхности, образованная вращением ветряной электростанции);  $V_{\text{ср}}^3$  - средняя скорость ветра в течении года.

Среднегодовая удельная энергия ветрового потока  $W_{\text{уд.н}}$  (энергия, протекающая за 1 год через  $1\text{ м}^2$  поперечного сечения ометаемой площади) зависит от повторяемости скоростей ветра, т.е. какую долю годового времени  $t_i$  ветер дул со скоростью  $V_i$  [15]

$$W_{\text{уд.н}} = \frac{1}{2} \rho T \sum_{i=1}^k t_i \cdot V_i^3$$

где  $k$  – число градаций ветра;

Зная среднегодовую скорость ветра, его вертикальный профиль и повторяемость скорости ветра, можно дать энергетическую характеристику ветрового потока в любом районе.

Среднегодовая удельная мощность ветрового поток можно определить по следующему выражению:

$$P_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{уд}}}{T}$$

А мощность ветроустановки:

$$P_{\text{ВЭУ}} = \eta \xi P_{\text{уд.н}} A_0$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия, 0,85;  $\xi$  – коэффициент ветроиспользования, 0,45;  $A_0$  – ометаемая площадь,  $\pi d^2/4$ ,  $\text{м}^2$ .

Исходя из вышеизложенного в рассматриваемой случае среднее количество электроэнергии, вырабатываемой ветряной электростанцией мощностью 2 кВт, зависит от площади поверхности, генерируемой вращательным движением ветра станции ( $d=3,3\text{ м}$ ), и скорости ветра, а саму площадь поверхности будет равна следующему выражению:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,3^2}{4} = 8,55 \text{ м}^2$$

где:  $d$  — диаметр лопасти ветроэнергетической установки, м.

Для площади поверхности, образующейся при вращении лопастей в ветряной электростанции мощностью 2 кВт, средняя мощность потока ветра будет определена по следующей формуле:

$$P_{\text{ср}} = \frac{(\rho \cdot S \cdot V_{\text{ср}}^3)}{2} = \frac{(1,225 \cdot 8,55 \cdot (3,3)^3)}{2} = 188,2 \text{ Вт}$$

Тогда производительность электроэнергии за год ветряной электростанции будет равна следующему значению:

$$W_{\text{ср.год}} = \frac{(24 \cdot 365 \cdot P_{\text{ср}})}{1000} = \frac{(24 \cdot 365 \cdot 188,2)}{1000} = 1648,63 \text{ кВт} \times \text{час} / \text{год}$$

Если ссылаться на информацию с интернета, тогда за 2019 год было 326 ветряных дней, а безветряных дней равно 39.

Таблица 2

Техническая характеристика ветроэлектростанции мощностью 2 кВт

№	Наименование технической спецификации	Цена и единица измерения
1	Номинальная мощность	2000 Вт
2	Номинальное напряжение	96 В
3	Диаметр лопастей	3,3 м
4	Начальная скорость вращения лопастей	3 м/с
5	Номинальная скорость вращения лопастей	10 м/с
6	Ограниченная скорость вращения лопастей	45 м/с
7	Вес устройства	48 кг
8	Количество лопастей	3
9	Рабочая температура	от -40° С до +80° С



Рис.5. Ветроэлектростанция мощностью 2 кВт установленная на территории ГЭИТ

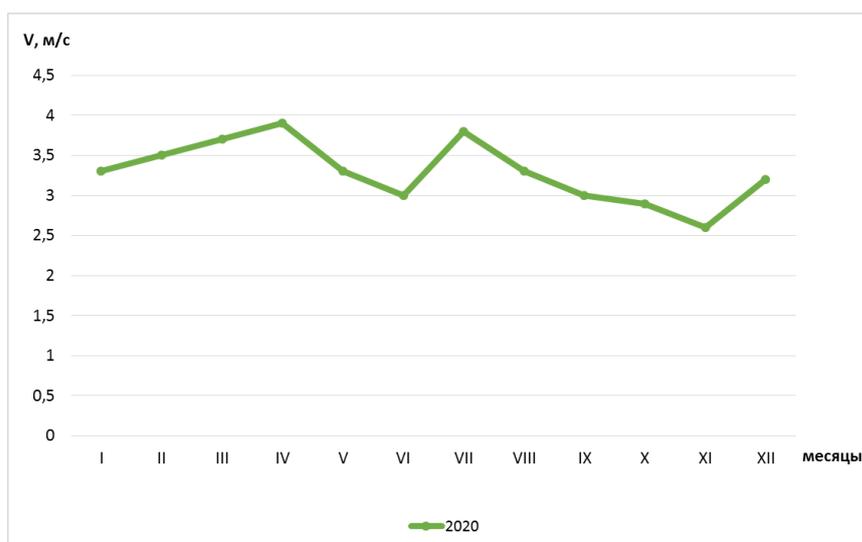


Рис. 6. Среднегодовая скорость ветра города Мары

Для определения среднегодовой скорости ветра в областях Туркменистана использовались данные с метеорологических станций собранные по каждой области за 2004-2018 годы.

На основе этих данных был составлен сравнительный график определяющий средние скорости ветра за месяц, а также была определена средняя скорость ветра за год в областях Туркменистана (рис.7). Полученные значения были использованы в технических показателях ветроэлектростанции с мощностью 2 кВт установленной на территории Государственного энергетического института Туркменистана, что позволило определить оптимальное расположение ветроэлектростанций в других регионах.

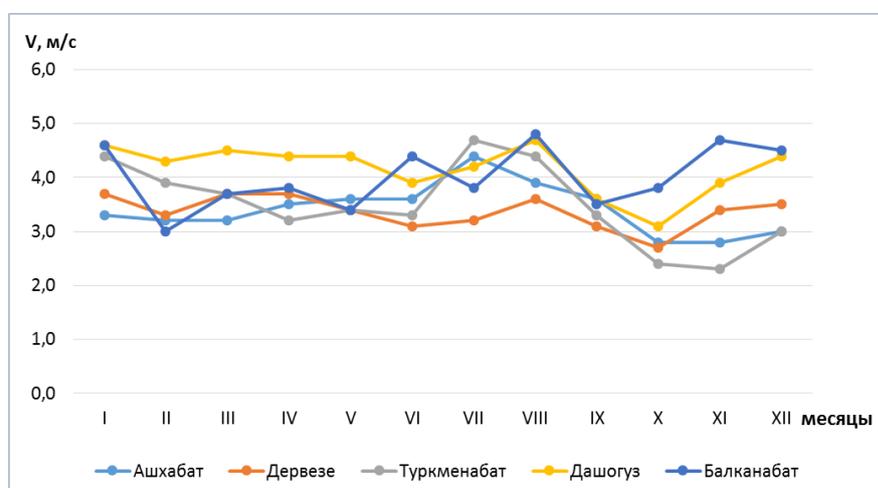


Рис.7.. Среднегодовая скорость ветра по областям Туркменистана

### Обсуждение результатов

План реализации вышеупомянутых государственных программ включает оценку запасов ветровой энергии страны и выбор площадок для ветряных электростанций. В этой научной статье полученные с метеорологических станций оценки ветровой энергии, созданных в Туркменистане, сравниваются с данными, полученными из интернета и сделанными на метеостанции, созданной в институте.

Полученные результаты научной работы может быть использована при оценке запасов ветроэнергетики для регионов Туркменистана и при определении местоположения ветряных электростанций.

Данные о средней скорости ветра с метеостанции в регионах Туркменистана за 2004-2018 годы

№	Области Туркменистана	Расположение метеорологической станции в регионах	Географические широты, ° (в градусах)		Среднегодовая скорость ветра, м/с	Среднегодовая выработка электроэнергии ветряной электростанции с мощностью 2 кВт, кВт·ч/г
			Северная широта	Восточная долгота		
1.	Ашхабат	Ашхабат	37,9	58,3	3,4	1803,07
2.	Ахал	Дервезе	40,10	58,24	3,4	1803,07
3.	Мары	Мары	37,6	61,8	3,3	1648,63
4.	Лебап	Туркменабат	39,1	63,6	3,8	2517,25
5.	Дашогуз	Дашогуз	41,8	59,8	4,4	3907,82
6.	Балкан	Балканабат	39,5	54,4	4,4	3907,82

### Заключение

Данные, полученные в результате расчетов, могут быть использованы для оценки запасов энергии ветра в регионе и для областей Туркменистана, а также для определения местоположения ветряных электростанций.

– Используя технические характеристики ветряной электростанции мощностью 2кВт, было рассчитано среднегодовая мощность электроэнергии, выработанной ветроэлектростанцией различной мощности.

– На основе данных метеорологических станций в регионах разработаны сравнительные характеристики средней скорости ветра и составлен график направлений ветра.

– Определены среднегодовые значения скорости ветра для города Мары.

### Литература

1. Государственная программа утвержденная Указом Президента Туркменистана. А.:2018, 2019.
2. Бабаев А.Г. Физическая география Туркменистана. 2014.
3. Джумаев. А., Султанов Х. Основы энергосбережения. А.: Наука, 2018.
4. Key word energy statistics, 2009 // International Energy Agency.
5. Каргиев В.М., и др. Ветроэнергетика руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности. М.: 2001.
6. Доступно по:<https://rp5.ru> website information.
7. Dorjiev S.S, Bazarova E.G, Pimenov S.V, et al. Development of wind power installations with the accelerator of an air stream for areas with a low speed of wind/ S.S. Dorjiev et al // Journal of Physics: Conference Series. 2018. V. 1111. P.012053.
8. Wind Energy Projects in Cold Climate (Edition 2011). Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Programme for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems. 2012. Available at : [http://ieawind.org/index\\_page\\_postings/June 7 posts/task 19 coldclimate rapproved05.12.pdf](http://ieawind.org/index_page_postings/June_7_posts/task_19_coldclimate_rapproved05.12.pdf). Accessed to: 12 Apr 2019.
9. Erma A.R., Kamani P.L., Kapadia R.R. A review on grid power quality improvement in wind energy system using STATCOM with BESS. Journal Emerg. Technol. Innov. Res. 2 (1) (2015)
10. Renewable Capacity Statistics. 2016. Available at : [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA RE Capacity Statistics 016.pdf](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_RE_Capacity_Statistics_016.pdf). Accessed to: 17 Apr 2019.
11. O'Sullivan J. Two utilities opt out of cape wind., January 2015. Available at: <http://www.bostonglobe.com/metro/2015/01/06/major-setback-for-cape-wind>. Accessed to: 06 Apr. 2019.
12. Насырова Е.В., Тимербаев Н.Ф., Леухина О.В., др. Анализ данных ветромониторинга в Республике Татарстан. Научно-практический рецензируемый журнал «Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ». 2019. Т. 21, № 6. С. 39-50
13. Саликеева С.Н., Галеева Ф.Т. Обзор методов получения альтернативной энергии. Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. Т.15. №8. С.57-59.
14. Кузнецова Е.В., Пуганова П.А. Экономическая целесообразность использования ветровой энергии // Наука, образование, инновации. 2016. С. 14-16.

15. Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of Conventional Plant and the Economic Implications. 2004. Available at: <https://docs.wind-watch.org/EirGrid-WindImpact-Main.pdf>. Accessed to :18 May 2019.

#### Автор публикаций

**Сарыев Какгелди Атаджанович** – канд. техн. наук, директор НПЦ «Возобновляемые источники энергии», Государственный энергетический институт Туркменистана (ГЭИТ).

#### References

1. State program approved by the Decree of the President of Turkmenistan, A. :2018, 2019.
2. Babaev A.G. *Physical geography of Turkmenistan*, Toolkit A.: 2014.
3. Dzhumayev A, Sultanov H. *Fundamentals of energy saving, Science*, Ashgabat. 2018.
4. Key word energy statistics, 2009. *International Energy Agency*.
5. Kargiev VM, et al. *Wind power engineering guidelines for the use of wind turbines of small and medium power*. M.: 2001.
6. Available at: <https://rp5.ru> website information.
7. Dorjiev SS, Bazarova EG, Pimenov SV, et al. Development of wind power installations with the accelerator of an air stream for areas with a low speed of wind. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;1111:012053.
8. Wind Energy Projects in Cold Climate (Edition 2011). *Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Programme for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems*. 2012. Available at: [http://ieawind.org/index\\_page\\_postings/June\\_7\\_posts/task\\_19\\_coldclimate\\_rapproved05.12.pdf](http://ieawind.org/index_page_postings/June_7_posts/task_19_coldclimate_rapproved05.12.pdf). Accessed to: 12 Apr 2019.
9. Erma AR, Kamani PL, Kapadia RR. A review on grid power quality improvement in wind energy system using STATCOM with BESS. *Journal Emerg. Technol. Innov. Res.* 2015;2(1)
10. *Renewable Capacity Statistics*. 2016. Available at : [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_016.pdf](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_RE_Capacity_Statistics_016.pdf). Accessed to: 17 Apr 2019.
11. O'Sullivan J. *Two utilities opt out of cape wind*. January 2015. Available at: <http://www.bostonglobe.com/metro/2015/01/06/major-setback-for-cape-wind>. Accessed to: 06 Apr. 2019.
11. Nasyrova EV, Timerbaev NF, Leukhina OV, et al. Analysis of wind monitoring data in the Republic of Tatarstan Scientific and practical peer-reviewed. *ENERGY PROBLEMS*. 2019;21(6):39-50.
12. Salikeeva SN, Galeeva FT. Review of methods for obtaining alternative energy. *Bulletin KSPEU*, 2012;15(8):57-59.
13. Kuznetsova EV, Puganova P.A. Economic feasibility of using wind energy // *Science, education, innovations*. 2016. S. 14-16.
14. *Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of Conventional Plant and the Economic Implications*. 2004. Available at: <https://docs.wind-watch.org/EirGrid-WindImpact-Main.pdf>. Accessed to:18 May 2019.

#### Authors of the publication

**Kakageldi A. Saryyev** – State energy institute of Turkmenistan scientific–production center on «Renewable energy resources», Mary, Turkmenistan.

**Получено**

**17 ноября 2020г.**

**Отредактировано**

**23 ноября 2020г.**

**Принято**

**18 декабря 2020г.**