



УДК 621.383; 621.472(575.4)

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНО-ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ТУРИСТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ «АВАЗА» ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

А.М. Пенджиев, Х.М. Сапарлиев, Ч. Шукуров

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
Туркменистан, 744032, Ашхабат, ул. Б.Аннанова, д. 1
Тел.: +(99312) 41-18-00, e-mail: ampenjiev@rambler.ru

Заключение совета рецензентов: 24.05.14 Заключение совета экспертов: 27.05.14 Принято к публикации: 30.05.14

В статье рассмотрена разработанная авторами комбинированная солнечно-ветровая станция с горизонтальной ориентацией ветроэнергетической установки и возможности ее использования в туристической зоне «Аваза» на побережье Каспийского моря, изучена ветровая обстановка региона, приведен анализ, расчетные и графические данные для возможности использования традиционных и предлагаемых вертикальных ветроагрегатов. Представлены сравнительные характеристики традиционной ветроустановки и ветроустановок с горизонтальными лопастями типа «Банан» и «Колокольчик». Мощность энергии, которую вырабатывает предлагаемая установка, превышает в 2,8 раза мощность традиционной установки, что подтверждается расчетами, приведенными гистограммами и уравнениями регрессии.

Ключевые слова: комбинированная солнечно-ветроэнергетическая станция, мощность, туристическая зона «Аваза», ветровой кадастр.

POSSIBLE TO USE SOLAR-WIND POWER PLANTS IN THE TOURIST ZONE "AVAZA" ON THE CASPIAN SEA COAST

A.M. Penjiyev, H.M. Saparliev, C. Shukurov

Turkmen State Institute of Architecture and Engineering
1, B. Annanova str., Ashkhabad, 744025, Turkmenistan
Тел.: +(99312) 41-18-00, e-mail: ampenjiev@rambler.ru

Referred: 24.05.14 Expertise: 27.05.14 Accepted: 30.05.14

The paper describes a combined solar-wind station, which has horizontal orientation of a wind-power facility, developed by the authors. Possibilities of its application in a tourist area "Avaza" on Caspian Sea coast are considered. Wind situation of the region is studied; analysis, calculation, and graphical data to use traditional and proposed wind facilities are presented. Comparative characteristics of the traditional wind facility and facilities with horizontal blades of "Banana" and "Bell" types are presented. Output energy of the proposed facility exceeds the power of the traditional facility in 2.8 times. This is confirmed by the calculations, presented histograms and regression equations.

Keywords: combined solar-wind power station, power, tourist zone "Avaza", wind cadastre.

Актуальность проблемы. Формирование в стране современной инфраструктуры отдыха и туризма является одним из приоритетных направлений стратегии социально-экономического развития Туркменистана, в частности, это нашло отражение в Национальной программе «Аваза». Создаваемый на экологически чистом побережье Каспийского моря курорт мирового класса «Аваза» – это принципиально но-

вый и комплексный подход к решению задач по реализации колоссального природного и экологического потенциала страны.

Обеспечение экологической безопасности этого райского уголка – главная задача, которую частично можно решить с помощью использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, солнечной, ветровой энергии [1-4].



Климатологические характеристики ветровой обстановки в регионах Туркменистана. Ветер на различных высотах в атмосфере Земли и для каждой точки ее поверхности характеризуется скоростью, которая, строго говоря, является случайной переменной в пространстве и времени, зависящей от многих факторов местности, сезона года и погодных условий. Все процессы, напрямую связанные с использованием текущего значения скорости ветра, в частности, производство электроэнергии в ветроэлектрических установках, имеют сложный характер, так что их характеристики обладают статистическим разбросом и неопределенностью средних ожидаемых значений. Поэтому на современном уровне исследований задача их оценки формируется как создание вероятностного описания случайного процесса посредством разбиения всего временного процесса на отдельные временные интервалы, в пределах каждого из которых можно использовать приближение стационарности, т.е. независимости всех определяемых параметров от времени. В качестве периода стационарности могут быть приняты различные временные интервалы с соответствующей точностью описания в зависимости от реальных условий случайного процесса. В частности, в некотором приближении можно считать процесс стационарным во всем рассматриваемом промежутке времени, например, в течение года.

Ветры в основном определяются общими циркуляционными процессами, наличием горных систем на юге Туркменистана и Каспийского моря на западе. На побережье Каспийского моря в среднем в течение года преобладают восточные и северо-западные ветры (20-25%), в Центральных и Восточных Каракумах – северные потоки воздуха (25-35%), в восточной части предгорий Копет-Дага – северо-западные (20-30%), а в западных предгорьях преобладают восточные ветры (35-50%).

В Туркменистане до настоящего времени оценка возможности использования энергии ветра основывалась на исследованиях крупномасштабного территориального распределения скорости и удельной мощности ветрового потока [1, 5-24] по данным наблюдений за скоростью ветра на сети метеостанций (МС) [25]. На основе полученных данных были выделены районы МС, наиболее перспективные с точки зрения практического использования энергии ветра.

Ветроэнергетический кадастр. Для систематизации характеристик ветровой обстановки в конкретном регионе с целью ее эффективного энергетического использования, как правило, разрабатывается ветроэнергетический кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить его энергетическую ценность, а также целесообразные параметры и режимы работы ветроэнергетических установок.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- максимальная скорость ветра;
- распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы региона.

Начиная с 50-х гг. XX века в бывшем СССР, в том числе и в Туркменистане, были развернуты широкие работы по созданию ветроэнергетических кадастров [5-14, 25-27], хотя при этом северные и восточные районы страны фактически не рассматривались. Основным источником исходных данных для разработки ветроэнергетического кадастра являются наблюдения за ветровыми характеристиками по единой методике с фиксированной классификацией мест наблюдения по степени их открытости и охватывают периоды в десятки лет.

За последние 20-30 лет произошло качественное изменение уровня этих наблюдений. Благодаря изменению уровня наблюдений на высотных метеорологических и тепловизорных мачтах получены сведения о вертикальном профиле скоростей в приземном слое высотой до 500 метров, увеличилась частота регулярного получения информации о скорости и направлении ветра на опорной сети метеорологических станций (с 4 до 8 раз в сутки), а некоторыми метеостанциями и отдельными заинтересованными организациями ведутся непрерывные наблюдения в автоматическом режиме. Эти измерения по длительности, как правило, уступают многолетним наблюдениям гидрометеослужбы, но они особенно важны при измерении быстропеременных процессов, включая порывы ветра и его максимальные пульсации, а также при оценке рабочих периодов и периодов простоя ветроустановок. Годовой ход скорости ветра на территории Туркменистана зависит от местных условий. На открытых равнинных местах годовые значения скорости ветра изменяются в пределах 3,2–4,2 м/с. В оазисах, в защищенных условиях среднегодовая скорость ветра не превышает 3,1 м/с и может составить даже 1,6 м/с (пос. Ачабил) [2, 6-11, 25].

Средние скорости ветра. Основной характеристикой ветра, определяющей его интенсивность и эффективность использования ветровой энергии, является его средняя скорость за определенный период времени, например, за сутки, месяц, год или несколько лет. Средняя скорость ветра представляется как среднеарифметическое значение, полученное из ряда замеров скорости, сделанных через равные интервалы времени в течение заданного периода.

Классы открытости местности и приведенная средняя скорость. При использовании данных метеонаблюдений и средних скоростей ветра следует учитывать, что они соответствуют конкретным рельефным и ландшафтным условиям в районе метео-



станции и определенной высоте над поверхностью земли (высоте флюгера). Для разных станций эти условия могут значительно отличаться. Поэтому представляется целесообразным приведение средней многолетней скорости ветра к сравнимым условиям по открытости и ровности местности.

Вопрос об учете условий местности рассматривался во многих работах [2, 3, 6-14, 26, 27], что привело к появлению различных классификаций открытости местности, наиболее известными из которых являются классификации по Милевскому, Подтягину и Гриневичу.

Временная зависимость средней скорости ветра. Помимо представленного выше закономерного изменения параметра случайной величины – средней скорости ветра в зависимости от открытости местности и высоты над поверхностью Земли существует также закономерное временное изменение средней скорости ветра, обусловленное определенным и довольно устойчивым характером изменения погодных и климатических условий в течение года.

Годовой ход скорости ветра на территории Балканского вейлата (побережье Каспийского моря), где идет стройка туристической зоны «Аваза», представлен на рис. 1. Информация о скорости ветра в период с 1936 по 1980 годы взята из справочника по климату.

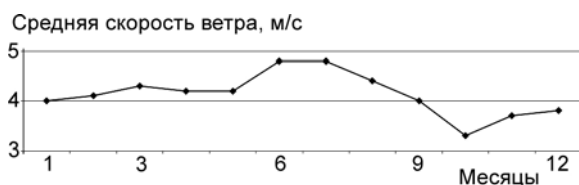


Рис. 1. Годовой ход скорости ветра на побережье Каспийского моря в туристической зоне «Аваза»
Fig. 1. An annual course of speed of a wind at coast of Caspian Sea in a tourist zone «Avaza»

Из рис. 1 видно, что весной и летом в связи с прогревом поверхности почвы усиливается турбулентный обмен между приземными и верхними слоями воздуха, чем и объясняется увеличение среднегодовой скорости ветра в этот период года. Однако чаще всего значение средних месячных скоростей ветра изменяется от года к году на 0,5–1,0 м/с летом и на 1–2 м/с зимой.

Важными составляющими ветроэнергетического кадастра являются временные характеристики скорости ветра, которые колеблются в пределах 3,8–4,8 м/с [2, 3, 6-14, 25, 27-29].

Суточный ход средней скорости ветра – это изменение скорости ветра в течение суток, усредненное по всем суткам в определенном месяце и по многолетним наблюдениям. Согласно представленному выше определению, среднемноголетнее значение скорости ветра в одной и той же местности измерения для всех суток (1, 7, 13, 19 часов) по месяцам показано на рис. 2.

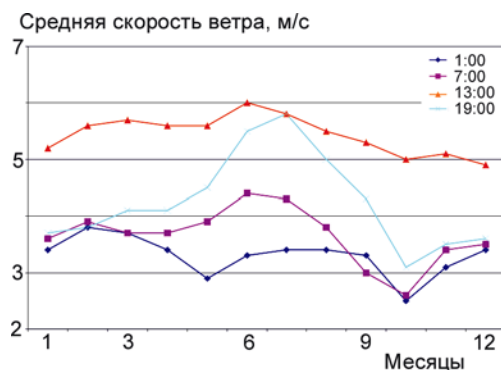


Рис. 2. Средняя скорость ветра по месяцам года и времени суток на побережье Каспийского моря в туристической зоне «Аваза»
Fig. 2. Average speed of a wind on months of year and days for coast of Caspian Sea in a tourist zone «Avaza»

Рассмотренные характеристики временной зависимости средней скорости ветра имеют важное значение для оценки не только ветроэнергетического потенциала определенной местности, но и эффективности его использования за счет учета степени согласованности графика поступления ветровой энергии с графиком энергетической нагрузки потребителей.

Вероятность скорости ветра по градациям в различные часы суток (%) представлена на рис. 2. Приведены кривые распределения скорости ветра за год в течение суток, так, в 13 часов дня средняя скорость ветра достигает 5,4 м/с, в 19 часов – 4,2 м/с, в ночной период снижается до 3,3 м/с. Суточный ход ветра снижается в 1 час ночи, что хорошо видно на рис. 2. В течение года число штилей (0-1 м/с) к полудню (13 часов) заметно уменьшается и увеличивается повторяемость скорости ветра более 2 м/с [2, 7-11, 25].

Направление ветра определяется по той части горизонта, откуда дует ветер. Данные повторяемости ветра, вычисленные в процентах от общего числа наблюдения за каждый месяц и год, представлены на рис. 3. Направление ветра в значительной степени зависит от условий месторасположения. Если ветроустановка расположена на открытой местности, то данные отражают направление ветра основного воздушного потока, характерные для местных условий. На рис. 3 видно, что усредненное направление ветра следующее: север – 23%, северо-запад – 16%, юго-восток – 15%. Учитывая влияние рельефа местности и защищенность флюгера, проводя анализ таблицы классификации В.Ю. Милевского, делаем вывод, что класс открытости флюгера по румбам – коэффициент K – составляет: 7(б) и 6(б) – юго-восточный. Этот коэффициент говорит о результатах замеров, проведенных там, где нет никаких элементов защищенности. Повторяемость направления ветра широко используется при проектировании и размещении ветроустановок, поселков, при строительстве заводов и др. сооружений.



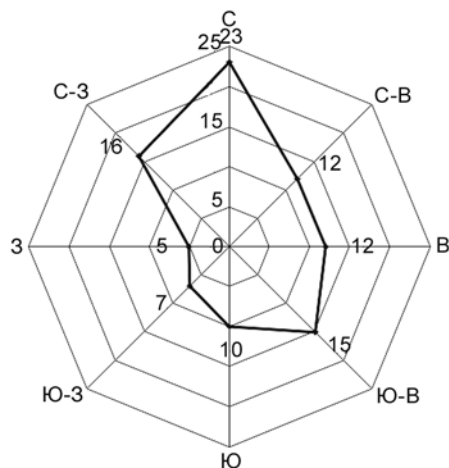


Рис. 3. Направления ветрового потока в течение года в процентном соотношении на побережье Каспийского моря в туристической зоне «Аваза»

Fig. 3. Directions of a wind stream within a year in percentage parities at coast of Caspian Sea in a tourist zone «Avaza»

В частности, для северных районов побережья Каспийского моря как суточный, так и годовой ход среднемесячной скорости ветра на высоте 10-11 м, которые представлены в моих трудах [3, 4, 7-11, 15-24, 26-29], оказываются весьма благоприятными для использования ветроэнергетических установок как в автономном режиме, так и в сочетании с гелиоэлектрическими установками. Максимум среднемесячных скоростей приходится на холодное время года и совпадает с сезонным пиком потребления тепловой и электрической энергии, что позволяет компенсировать сезонный дефицит электроэнергии. Суточное изменение средней скорости значительно проявляется в летнее время, причем скорости в дневные часы в среднем выше на 1-2 м/с, чем ночью, а это дает возможность более эффективно использовать ветер, поскольку максимум потребления энергии приходится также на дневное время.

Принимая во внимание вышеизложенные данные о скорости ветра Авазы, можно сделать вывод о преимуществе использования ветродвигателей в этой местности и об их эффективной эксплуатации в большом диапазоне скоростей, учитывая, что обычно они начинают работать при скорости 3-5 м/с, которую и называют рабочей.

Удельная мощность и удельная энергия ветрового потока. Удельная мощность потока ветровой энергии равна энергии, переносимой ветром в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной скорости ветра. Для стационарного потока воздуха со среднегодовой скоростью 4,1 м/с удельная мощность для туристической зоны «Аваза» равна 1422 Вт/м².

Средняя удельная мощность потока ветровой энергии может быть выражена двояким образом в соответствии с приведенными представлениями распределения скоростей ветра в потоке.

Нами рассматривается **комбинированная солнечно-ветровая станция** (КСВС) для выработки электрической энергии на основе ветропотенциала, рассчитанного для туристической зоны «Аваза». Предлагаемая комбинированная станция предназначена для преобразования альтернативных источников энергии, в частности, энергии ветра, солнца и тепла. Она может быть использована как автономный источник электрической энергии, техническим результатом использования солнечно-ветровой станции является повышение коэффициента полезного действия станции.

Краткий обзор КСВС. В настоящее время известно множество конструкций комбинированных альтернативных источников энергии, сочетающих в себе несколько источников энергии. В основном эти устройства включают в себя два источника энергии, пассивно связанных между собой: ветрогенератор и фотоэлементы, ветрогенератор и термогенераторы, ветрогенератор и пьезогенераторы и т.д.

В настоящее время известна комбинация ветрогенератора с пьезогенератором (а.с. RF № 2189543 от 2002 года, МКИ F 24 J 2/24). В данных изобретениях использование пьезогенераторов с ветрогенераторами понижает общий КПД системы [4, 24, 26, 27].

Известен комбинированный источник электроэнергии для подогрева воды (а.с. RF 2254523 от 2002 года, МКИ F 24 J 2/24) на основе ветрогенератора и фотоэлементов, где последние расположены на направляющем устройстве ветрогенератора.

В авторском свидетельстве СССР 1373861 от 1986 г. рассматривается комбинированный источник электрической энергии, состоящий из ветрогенератора и солнечных элементов. Данный источник отличается сложной конструкцией, а для поворота солнечных элементов требуется дополнительная энергия.

Известен комбинированный источник электроэнергии для подогрева воды (а.с. ABŞ 5075564 от 1991 г., МКИ F 03 D 11/00) на основе ветрогенератора и фотоэлементов. В данной системе фотоэлементы расположены на лопастях ветрогенератора, а это не самая удачная комбинация [24].

В предлагаемой станции рассматривается активная комбинация ветрогенератора с диффузорами, вертикальной воздушной трубой, паротурбинным генератором, фото- и термоэлементами и водородным генератором в одном объекте. В отличие от других известных комбинированных источников электроэнергии между элементами данной системы установлена активная связь, при этом они положительно дополняют друг друга. Для этого конструкция одного из этих преобразователей (с наибольшим КПД) берется за основу данной системы, а остальные источники электроэнергии интегрируются в данную конструкцию. Такая взаимосвязь между элементами конструкции позволяет увеличить общий КПД системы.

Учитывая, что ветро- и солнечные преобразователи являются самыми эффективными преобразователями альтернативной энергии, в основу гелиоси-



стемы предложена следующая конструкция: по кругу расположена группа диффузоров в виде усеченных пирамид, сопряженных друг с другом по боковым сторонам и обращенных малым основанием к центру. В центре расположен ветродвигатель, вращающийся на вертикальной оси. Верхняя часть диффузоров при этом образует круговую систему для расположения отражателей солнечной энергии, а фотоэлементы находятся на фокусной плоскости этой системы.

Для установки фотоэлементов в центре системы над ветрогенератором расположена вертикальная воздушная труба с открытым верхом, конец трубы сделан в виде конуса. Снаружи вертикальная труба снабжена модулями термоэлементов. Для эффективного отражения солнечных лучей отражатели снабжены следящими устройствами, которые контролируются специальными компьютерами. На верхнем конце вертикальной трубы расположен еще один ветрогенератор для преобразования вертикального потока ветра в электроэнергию.

Для поддержания оптимальной рабочей температуры фото- и термоэлементов гелиокомплекс снабжен охлаждающей системой. Энергия, накопленная на охлаждающей системе, затрачивается паротурбинным генератором для получения электроэнергии.

Нижняя часть вертикальной трубы тоже имеет форму конуса с плавным переходом в горизонтальную плоскость, которая используется для подогрева воздушного потока с помощью солнечных лучей. Это устройство, с одной стороны, увеличивает эффективность использования солнечной энергии, с другой стороны, при отсутствии ветра создает искусственный воздушный поток внутри системы. Расположение элементов гелиосистемы схематически показано на рис. 4, 5.

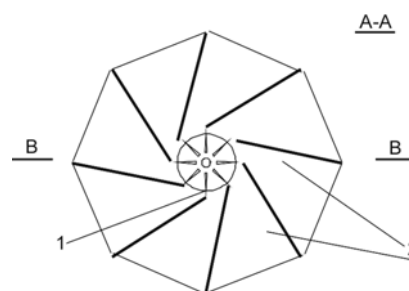


Рис. 4. Схематическое расположение элементов комбинированной гелиосистемы в плоскости А-А:

1 – ветрогенератор; 2 – устройства для сбора воздушного потока (диффузор)

Fig. 4. Schematic arrangements of elements of combined solar system in plane A-A: 1 – wind generator; 2 – devices for gathering of an air stream (diffuser)

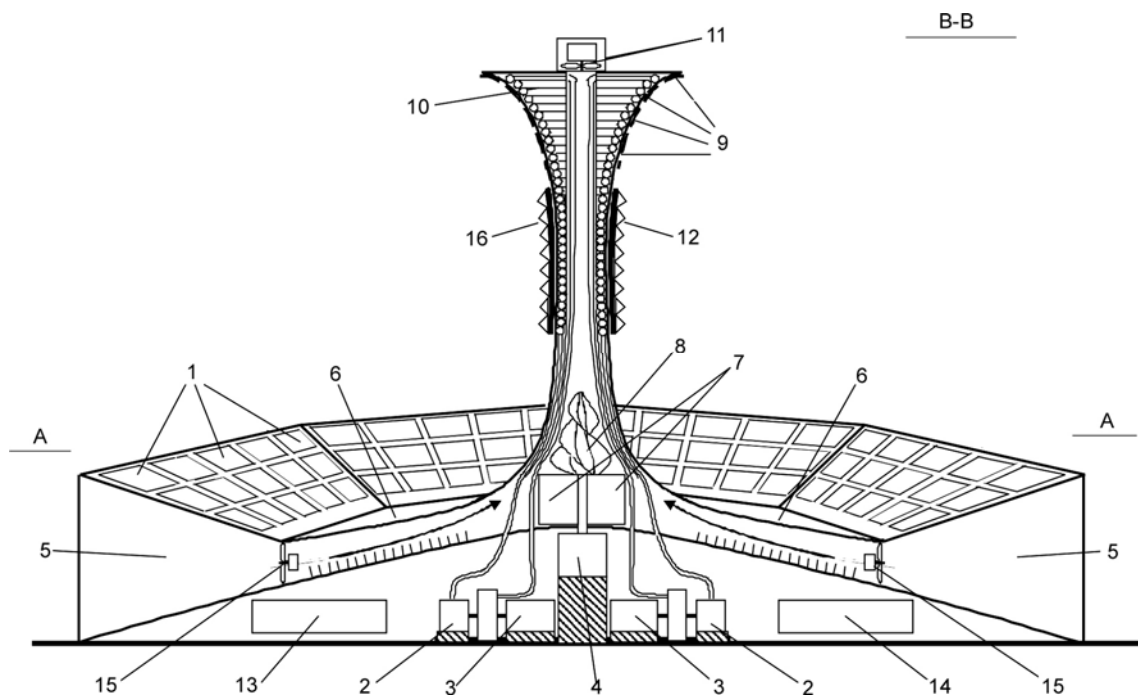


Рис. 5. Схематическое расположение элементов комбинированной гелиосистемы в плоскости В-В: 1 – отражатели солнечных лучей; 2 – насос для перегонки охлаждающей жидкости; 3 – паротурбинный генератор; 4 – ветрогенератор; 5 – устройства для сбора воздушного потока (диффузор); 6 – устройства для нагрева воздушного потока; 7 – лопасти ветрогенератора; 8 – направляющие лопасти для вертикального потока; 9 – фотоэлементы; 10 – трубы для системы охлаждения; 11 – ветрогенератор, работающий на вертикальном воздушном потоке; 12 – термогенераторы с устройством накопления тепла; 13 – аккумуляторная система; 14 – водородный электрогенератор; 15 – ветрогенераторы с горизонтальной осью

Конструкция комбинированной станции. Принцип работы гелиосистемы заключается в следующем: ветровой поток, ускоренный диффузорами 5, приводит в движение лопасти ветродвигателя 15 и 4. Часть ветра с помощью направляющих лопастей попадает на вертикальную трубу и приводит в движение лопасти ветродвигателя, расположенного на конце трубы 11. Солнечные лучи, отраженные от концентраторов 1, попадают на фотоэлементы 9 и преобразуются в электричество. Тыльная сторона фотоэлементов снабжена трубами 10 с охлаждающей жидкостью. Жидкость, нагретая фотоэлементами, превращается в пар и по трубам попадает на паротурбинный генератор 3. Основная часть энергии пара уходит на вращение ротора, который работает соосно с механизмом превращения пара в конденсат и перекачивающим насосом 2. Оставшаяся часть энергии пара превращается в электричество. Охлажденная жидкость, продвигаясь по трубам, сначала охлаждает тыльную сторону термоэлементов 12, а потом переходит на блок фотоэлементов 9.

Наружная сторона термоэлементов нагревается прямыми и отраженными солнечными лучами. Для эффективного нагрева термоэлементов их поверхность снабжена теплоаккумулирующим устройством 16.

Для ускорения потока ветра внутри гелиокомплекса область между вертикальной трубой и диффузорами используется для подогрева воздушного потока. Это устройство 6 состоит из основания со специальными ребрами, которые аккумулируют тепло, и верхней части из прозрачного стекла. Ребра помогают эффективному нагреву воздуха, увеличивая температуру нагрева. Нагретый солнечными лучами и ребрами воздух по аэродинамическим законам устремляется вверх по трубе. Для увеличения эффективности работы данного устройства его основание располагается под углом 20° относительно горизонта. На границе между устройством нагрева воздушного потока и диффузорами установлены ветрогенераторы с горизонтальной осью 15. Эти ветрогенераторы, во-первых, эффективно преобразуют ветер в электричество, а во-вторых, исключают появление обратного потока ветра внутри диффузоров [23].

При отсутствии ветра устройство нагрева воздушного потока позволяет создавать искусственный ветровой поток внутри гелиосистемы, тем самым увеличивая КПД системы.

При отсутствии и ветра и солнечных лучей система питается от водородного генератора 14 и аккумуляторной секции 13. Водородное топливо получается из обычной воды при работе гелиосистемы с максимальной мощностью.

Экономическая эффективность, ожидаемая от использования данного изобретения, состоит в том, что при отсутствии централизованного обеспечения электроэнергией или при недостатке мощности электростанций использование данной гелиосистемы может оправдать финансовые затраты на ее установку.

Предварительные расчеты станции для использования в туристической зоне «Аваза». В расчетах использованы данные традиционных ветроэнергетических установок (ВЭС) и предлагаемых установок с горизонтальным лопастным экраном с четырьмя лопастями, имеющими форму типа «Банан» и «Колокольчик», с шестью ветронаправляющими экранами, где радиус роторов $R = 0,11$ м, площадь миделя ротора $A = 0,0598$ м², скорость ветра V , м/с, меняется по времени и месяцам года, обороты ветротурбины $n = 131$ мин⁻¹ и $n = 170$ мин⁻¹, плотность воздуха $\rho = 1,225$ кг/м³, коэффициенты ветротурбины $C_m = 0,284$ и $C_m = 0,264$, коэффициент использования $x = 0,45$. При этих данных мы определили скорость напора q , крутящий момент $M_{кр}$, угловую скорость ω , мощность установки P , относительный коэффициент мощности μ горизонтальной и традиционной установок ($N_{гр}/N_{тр}$). Результаты расчета представлены графически на рис. 6-8 и в табл. 1, 2.

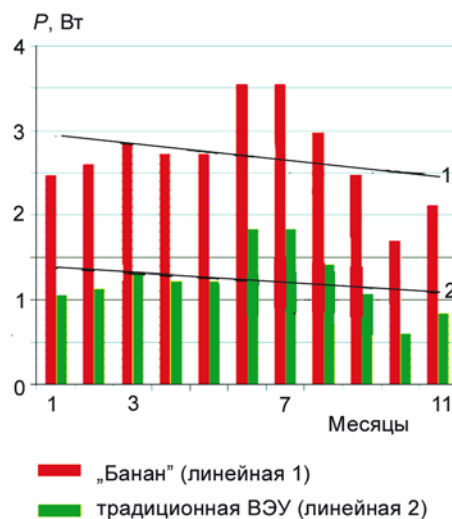


Рис. 6. Сравнительная характеристика мощности традиционной ветроэнергетической станции и предлагаемой горизонтальной с лопастями типа «Банан» для туристической зоны «Аваза» в течение года
Fig. 6. Comparative characteristics of power of a traditional windmill station and the proposed horizontal with blades type «Banana» for the tourist zone «Avaza» during the year

На рис. 6 представлен сравнительный годовой потенциал ВЭС традиционной и предлагаемой горизонтальной установки с лопастным ветронаправляющим экраном типа «Банан». Как видно из рис. 6, мощность энергии, которую вырабатывает предлагаемая установка, превышает в 2,3 раза мощность традиционной установки. Регрессионная зависимость ветроустановки типа «Банан» представлена в виде уравнения: $y = -0,047x + 2,977$, коэффициент корреляции $R^2 = 0,080$, а для традиционной ветроустановки соответственно: $y = -0,027x + 1,392$ и $R^2 = 0,062$ [3, 4, 15-24].

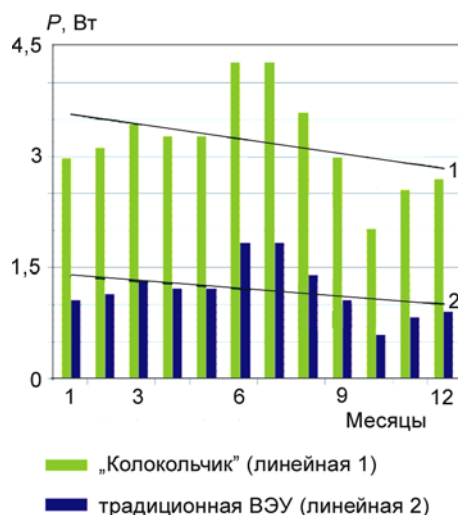


Рис. 7. Сравнительная характеристика мощности традиционной ветроэнергетической станции и предлагаемой горизонтальной с лопастями типа «Колокольчик» для туристической зоны «Аваза» в течение года

Fig. 7. Comparative characteristics of power of a traditional windmill station and the proposed horizontal with blades type "Bell" for the tourist zone "Avaza" during the year

На рис. 7 представлен сравнительный годовой потенциал ВЭС традиционной и предлагаемой горизонтальной с ветронаправляющим экраном лопастного типа «Колокольчик». Как видно из рис. 7, мощность энергии, которую вырабатывает предлагаемая установка, превышает в 2,8 раза мощность традиционной установки. Регрессионная зависимость ветроустановки типа «Колокольчик» представлена в виде уравнения: $y = -0,065x + 3,629$, коэффициент корреляции $R^2 = 0,130$, а для традиционной ветроустановки соответственно: $y = -0,033x + 1,418$ и $R^2 = 0,111$.

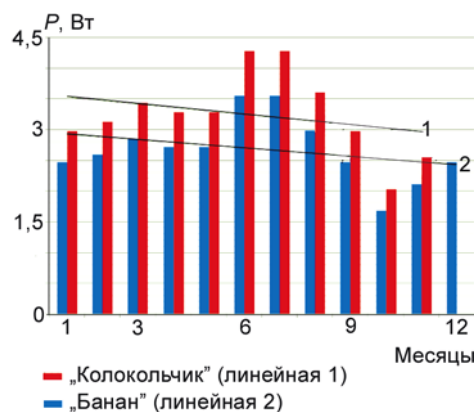


Рис. 8. Сравнительная характеристика мощности ветроэнергетических станций с горизонтальными лопастями типа «Банан» и «Колокольчик» для туристической зоны «Аваза» в течение года

Fig. 8. Comparative characteristics of power of a horizontal windmill station with blades type "Banana" and "Bell" for the tourist zone "Avaza" during the year

На рис. 8 представлен сравнительный годовой потенциал ВЭС между ветроэнергетическими установками с горизонтальными лопастными экранами типа «Колокольчик» и типа «Банан». Как видно из рис. 8, мощность энергии, которую вырабатывает установка с лопастями типа «Колокольчик», превышает в 0,8 раза мощность установки с лопастями типа «Банан». Регрессионная зависимость ветроустановки с лопастями типа «Колокольчик» представлена в виде уравнения: $y = -0,057x + 3,591$, коэффициент корреляции $R^2 = 0,080$, а для ветроустановки с лопастями типа «Банан» соответственно: $y = -0,045x + 2,967$ и $R^2 = 0,093$.

Таблица 1
Результаты расчета характеристик ветроэнергетической станции с лопастями типа «Банан» для туристической зоны «Аваза» в течение года

Table 1
The results of calculating the characteristics of wind power station with blades type "Banana" for the tourist zone "Avaza" during the year

Характеристика	Месяц												Ср. год	Сумма
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
$V, \text{ м/с}$	4	4,1	4,3	4,2	4,2	4,8	4,8	4,4	4	3,3	3,7	3,8	4,1	
q	9,8	10,296	11,325	10,805	10,805	14,112	14,112	11,858	9,8	6,670	8,385	9,831	9,8	117,968
M	0,018	0,019	0,021	0,020	0,020	0,026	0,026	0,022	0,018	0,013	0,016	0,018		
P	2,461	2,585	2,844	2,713	2,713	3,544	3,544	2,978	2,461	1,675	2,106	2,469	2,461	29,623
$P_{\text{тр}}$	1,055	1,136	1,310	1,221	1,221	1,823	1,823	1,404	1,055	0,592	0,835	0,904	1,055	13,475
$\mu = N_{\text{тр}}/N_{\text{тр}}$	2,333	2,276	2,170	2,222	2,222	1,944	1,944	2,121	2,333	2,828	2,522	2,729	2,333	24,914
$P/P_{\text{тр}}, \%$	133,29	127,61	117,01	122,18	122,18	94,41	94,41	112,08	133,29	182,77	152,20	172,95		

Таблица 2

Результаты расчета характеристик ветроэнергетической станции с лопастями типа «Колокольчик» для туристической зоны «Аваза» в течение года

Table 2

The results of calculating the characteristics of wind power station with blades type “Bell” for the tourist zone “Avaza” during the year

Характеристика	Месяцы												Ср. год	Сумма
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
V , м/с	4	4,1	4,3	4,2	4,2	4,8	4,8	4,4	4	3,3	3,7	3,8	4,1	
q	9,8	10,296	11,325	10,805	10,805	14,112	14,112	11,858	9,8	6,670	8,385	8,845	9,8	117,97
M	0,017	0,018	0,03	0,019	0,019	0,025	0,025	0,021	0,017	0,012	0,015	0,015	0,017	
P	2,969	3,119	3,4316	3,273	3,272	4,275	4,275	3,592	2,969	2,021	2,540	2,679	2,969	35,735
$P_{тр}$	1,055	1,136	1,310	1,221	1,221	1,823	1,823	1,404	1,055	0,592	0,835	0,904	1,055	13,475
$\mu = N_{тр}/N_{тр}$	2,814	2,746	2,618	2,680	2,680	2,345	2,345	2,558	2,814	3,411	3,042	2,962	2,814	30,054
$P/P_{тр}$, %	181,42	174,56	161,79	168,02	168,02	134,52	134,52	155,84	181,42	241,11	204,24	196,23		



Преимущество вертикальных ВЭУ. Как видно из расчетов и результатов испытания модели, характеристика разработанной вертикальной конструкции ветроэнергетической станции имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной ВЭУ:

- она не зависит от изменения направления ветра, наличие ветронаправляющих экранов при скоростях от 3-4 до 20 м/с стабилизирует ветровую ситуацию;
- скорость обтекания конца лопастей менее 330 м/с (менее скорости звука), что не допускает образования ударных волн, не препятствует обитанию и перелету птиц;
- эти станции можно строить вблизи жилого массива, что существенно уменьшит расходы передачи электроэнергии на большие расстояния;
- сравнивая типы ветронаправляющих экранов «Банан» и «Колокольчик», делаем вывод, что «Колокольчик» превышает выработку электроэнергии в 0,8 раза [3, 6-14, 26, 27].

Выводы

Комбинированный автономный источник электрической энергии отличается от других известных автономных источников электроэнергии тем, что:

- между элементами данной системы составлена активная комбинация при их положительной взаимодополняемости;
- для увеличения эффективности гелиосистемы добавлен термоэлектрический модуль, который с тыльной стороны охлаждается системой охлаждения гелиосистемы, а с наружной части нагревается специальными устройствами для аккумуляции тепла солнечных лучей;

– энергия, снимаемая с фотоэлементов, затрачивается на охлаждение и перегонку самой жидкости и на получение электроэнергии с помощью паротурбинного генератора;

– верхняя часть диффузоров используется для расположения отражателей солнечных лучей;

– пространство между вертикальной трубой и диффузорами используется для нагрева воздушного потока внутри гелиосистемы, тем самым увеличивая КПД гелиосистемы, а также используется для получения искусственного ветра при отсутствии естественных ветров;

– для увеличения эффективности работы устройства для подогрева воздуха его основание находится под углом 20° к горизонту и снабжено специальными ребрами;

– для стабильной работы гелиосистемы система обеспечена аккумуляторной секцией, водородным генератором и устройством для получения чистого водорода;

– для увеличения эффективности гелиосистемы между устройством для подогрева воздуха и диффузорами установлены ветрогенераторы с горизонтальной осью; сравнительные результаты расчетов и их графическое изображение представлены на рис. 6-8 и в табл. 1, 2.

– сравнительные результаты расчетов подтверждают, что энергия, вырабатываемая вертикальной ветроустановкой, в 2,3–2,8 раза выше, чем традиционной.

Приведенные расчеты макета ветроэнергетической станции можно использовать при разработке и строительстве **комбинированной солнечно-ветровой станции не только в туристической зоне «Аваза», но и в других регионах** и местностях с соответствующим ветровым и солнечно-энергетическим потенциалом.

Список литературы

1. Бердымухамедов Г.М. Государственное регулирование социально-экономического развития Туркменистана. Том 1. А.: Туркменская гос. изд. служба, 2010.
2. Пенджиев А.М. Ресурсы и эффективность использования ветроэнергетических установок на острове Кызыл-су побережья Каспийского моря Туркменистана. Материалы международного научного симпозиума «Возобновляемые источники энергии: проблемы и перспективы», г. Худжанд, 24-26 мая 2011 г. С. 233-248.
3. Пенджиев А.М. Экоэнергетические ресурсы ветровой энергии в странах Содружества Независимых Государств // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. 2013. № 5. С. 129-150.
4. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане / Под ред. акад. Россельхозакадемии Стребкова Д.С. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012.
5. Захидов Р.А., Кисельева Е.И. и др. О прогнозной стоимости электроэнергии, вырабатываемой горизонтально-осевыми ветроэлектроустановками в некоторых районах Узбекистана // Гелиотехника. 2001. № 1. С. 76-85.
6. Колодин М.В. Энергетические ресурсы Каракумов. В кн. Пустыня Каракумы и пустыня Тар. Ашхабад: Ылым, 1992. С. 157-171.
7. Пенджиев А.М. Эффективность использования ветроэлектроустановок в Туркменистане // Проблемы освоения пустынь. 2004. № 1. С. 20-25.
8. Пенжиев А.М. Ветроэнергетика: ресурсы Туркменистана. Ашхабад: Стандарт, 2004. № 4. С. 32-34.
9. Пенджиев А.М. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Туркменистане // Проблемы освоения пустынь. 2005. № 2.
10. Пенджиев А.М. Энергоэффективность использования ветроустановок в пастбищных регионах Туркменистана. Труды 6-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 314-322.
11. Пенджиев А.М. Энергоэффективность использования ветроустановок в пастбищных регионах Туркменистана. Материалы международной конференции. М.: ВИЭСХ, 2008.
12. Пенжиев А.М. Изменения климата и возможности уменьшения антропогенных нагрузок. Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
13. Пенджиев А.М. Экологические проблемы освоения пустынь. Монография. Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.
14. Пенджиев А.М. Экоэнергетические ресурсы солнечной энергии в странах Содружества Независимых Государств // Альтернативная энергетика и экология – ISJAE. 2013. № 5. С. 13-30.

References

1. Berdymuhamedov G.M. Gosudarstvennoe regulirovanie social'no-ekonomičeskogo razvitiâ Turkmenistana. Tom 1. A.: Turkmenskaâ gos. izd. služba, 2010.
2. Pendžiev A.M. Resursy i èffektivnost' ispol'zovaniâ vetroènergetičeskikh ustanovok na ostrove Kyzyl-u poberež'â Kaspijskogo morâ Turkmenistana. Materialy meždunarodnogo naučnogo simpoziuma «Vozobnovlâemye istočniki ènergii: problemy i perspektivy», g. Hudžand, 24-26 maâ 2011 g. S. 233-248.
3. Pendžiev A.M. Èkoènergetičeskie resursy vetrovoj ènergii v stranah Sodružestva Nezavisimyh Gosudarstv // Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ – ISJAE. 2013. № 5. S. 129-150.
4. Strebkov D.S., Pendžiev A.M., Mamedsahatov B.D. Razvitie solnečnoj ènergetiki v Turkmenistane / Pod red. akad. Rossel'hozâkademii Strebkova D.S. M.: GNU VIÈSH, 2012.
5. Zahidov R.A., Kisel'eva E.I. i dr. O prognoznnoj stoimosti èlektroènergii, vyrabatyvaemoj gorizonta'l'no-osevymi vetroèlektroustanovkami v nekotoryh rajonah Uzbekistana // Geliotekhnika. 2001. № 1. S. 76-85.
6. Kolodin M.V. Ènergetičeskie resursy Karakumov. V kn. Pustynâ Karakumy i pustynâ Tar. Ašhabad: Ylym, 1992. S. 157-171.
7. Pendžiev A.M. Èffektivnost' ispol'zovaniâ vetroèlektroustanovok v Turkmenistane // Problemy osvoeniâ pustyn'. 2004. № 1. S. 20-25.
8. Penžiev A.M. Vetroènergetika: resursy Turkmenistana. Ašhabad: Standart, 2004. № 4. S. 32-34.
9. Pendžiev A.M. Perspektivy ispol'zovaniâ vozobnovlâemyh istočnikov ènergii v Turkmenistane // Problemy osvoeniâ pustyn'. 2005. № 2.
10. Pendžiev A.M. Ènergoèffektivnost' ispol'zovaniâ vetroustanovok v pastbišnyh regionah Turkmenistana. Trudy 6-j Meždunarodnoj naučnotehničeskoj konferencii «Ènergoobespečenie i ènergosbereženie v sel'skom hozâjstve». Čast' 4. M.: GNU VIÈSH, 2008. S. 314-322.
11. Pendžiev A.M. Ènergoèffektivnost' ispol'zovaniâ vetroustanovok v pastbišnyh regionah Turkmenistana. Materialy meždunarodnoj konferencii. M.: VIÈSH, 2008.
12. Penžiev A.M. Izmeneniâ klimata i vozmožnosti umen'seniâ antropogennyh nagruzok. Izdatel': LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012.
13. Pendžiev A.M. Èkologičeskie problemy osvoeniâ pustyn'. Monografiâ. Izdatel': LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.
14. Pendžiev A.M. Èkoènergetičeskie resursy solnečnoj ènergii v stranah Sodružestva Nezavisimyh Gosudarstv // Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ – ISJAE. 2013. № 5. S. 13-30.





15. Пенджиев А.М. Концепция развития возобновляемой энергетики в Туркменистане // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2013. № 8. С. 118-130.
16. Пенджиев А.М. Концепция развития возобновляемой энергетики Центральной Азии // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2012. № 8. С. 103-115.
17. Пенджиев А.М. Механизм чистого развития: приоритеты энергоэффективности в Туркменистане // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2009. № 10. С. 142-148.
18. Пенджиев А.М., Пенжиев А.А. Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды и устойчивого развития на основе возобновляемой энергетики в Центральной Азии // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2012. № 1. С. 139-156.
19. Пенджиев А.М. Экологические проблемы энергетики и роль альтернативных источников энергии в Центрально-азиатском регионе // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2012. № 5-6. С. 76-91.
20. Пенджиев А.М., Пенжиев А.А. Законодательное обеспечение развития возобновляемой энергетики в Туркменистане // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2010. № 6. С. 88-94.
21. Пенджиев А.М., Пенжиев А.А. Законодательное обеспечение развития возобновляемой энергетики в Центрально-азиатском регионе // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2011. № 11. С. 76-85.
22. Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в Туркменистане // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2007. № 9. С. 65-74.
23. Пенджиев А.М. Экологические проблемы энергетики и роль альтернативных источников энергии в Центрально-азиатском регионе // *Альтернативная энергетика и экология* – ISJAEЕ. 2012. № 4. С. 101-116.
24. Патент Туркменистана на изобретение № 537. Комбинированный автономный источник электрической энергии / Сапарлиев Х.М., Шукуров Ч., Пенджиев А.М.
25. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, вып. 30. Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
26. Харитонов В.П. Автономные ветроэнергетические установки. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.
27. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. М.: Энергоиздат, 1990.
28. Penjiyev A. Renewable energy application for independent development of small settlements of Turkmenistan. Desert Technology VII International Conference, November, India, 2003.
29. Penjiyev A. Ecoenergy resources of greenhouse facilities in the arid zone // *Problems of desert development*. 1998. № 5.
15. Pendžiev A.M. Koncepcia razvitiâ obnovlâemoj ènergetiki v Turkmenistane // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2013. № 8. S. 118-130.
16. Pendžiev A.M. Koncepcia razvitiâ obnovlâemoj ènergetiki Central'noj Azii // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2012. № 8. S. 103-115.
17. Pendžiev A.M. Mehanizm čistogo razvitiâ: priority ènergoèffektivnosti v Turkmenistane // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2009. № 10. S. 142-148.
18. Pendžiev A.M., Penžiev A.A. Meždunarodnoe sotrudničestvo v oblasti ohrany okružaušej sredy i ustojčivogo razvitiâ na osnove vozobnovlâemoj ènergetiki v Central'noj Azii // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2012. № 1. S. 139-156.
19. Pendžiev A.M. Èkologičeskie problemy ènergetiki i rol' al'ternativnyh istočnikov ènergii v Central'no-aziatskom regione // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2012. № 5-6. S. 76-91.
20. Pendžiev A.M., Penžiev A.A. Zakonodatel'noe obespečenie razvitiâ vozobnovlâemoj ènergetiki v Turkmenistane // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2010. № 6. S. 88-94.
21. Pendžiev A.M., Penžiev A.A. Zakonodatel'noe obespečenie razvitiâ vozobnovlâemoj ènergetiki v Central'no-aziatskom regione // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2011. № 11. S. 76-85.
22. Pendžiev A.M., Mamedsahatov B.D. Perspektivy ispol'zovaniâ vozobnovlâemyh istočnikov ènergii v Turkmenistane // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2007. № 9. S. 65-74.
23. Pendžiev A.M. Èkologičeskie problemy ènergetiki i rol' al'ternativnyh istočnikov ènergii v Central'no-aziatskom regione // *Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ* – ISJAEЕ. 2012. № 4. S. 101-116.
24. Patent Turkmenistana na izobretenie № 537. Kombinirovannyj avtonomnyj istočnik èlektričeskoj ènergii / Saparliev H.M., Šukurov Č., Pend-žiev A.M.
25. Naučno-prikladnoj spravočnik po klimatu SSSR. Seria 3, vyp. 30. L.: Gidrometeoizdat, 1989.
26. Haritonov V.P. Avtonomnye vetroènergetičeskie ustanovki. M.: GNU VIÈSH, 2006.
27. Šefter Â.I. Ispol'zovanie ènergii vetra. M.: Ènergoizdat, 1990.
28. Penjiyev A. Renewable energy application for independent development of small settlements of Turkmenistan. Desert Technology VII International Conference, November, India, 2003.
29. Penjiyev A. Ecoenergy resources of greenhouse facilities in the arid zone // *Problems of desert development*. 1998. № 5.

Транслитерация по ISO 9:1995

