

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

Ветроэнергетические ресурсы Самарской области

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 5 курса 521 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Туралева Ильнара Асельбековича

Научный руководитель

профессор, д.г.н., доцент

А.Б. Рыхлов

Заведующий кафедрой

к.г.н., доцент

М.Ю. Червяков

Саратов 2020

Введение. Энергия ветра людьми используется с давних времен. Достаточно привести в пример парусный флот или ветряные мельницы, которых в досоветские времена только в России было четверть миллиона. Желание человечества «запрячь ветер в упряжку» и заставить его вырабатывать электрический ток вполне очевидно и понятно, ведь ветер есть везде, он дует, и зимой, и весной, и летом, и днем, и ночью. Можно предположить, что раз ветер дует бесплатно, то и электроэнергия от этого источника должна быть недорогой. Но это предположение не имеет ничего общего с действительностью. В реальности строительство ветроагрегатов требует больших затрат, которые в конечном итоге вкладываются в стоимость производимой ими энергии. Специалисты подсчитали, что капиталовложения для АЭС в 6 раз меньше затрат для ветроустановки.

Так как ветер дует неравномерно, для того чтобы выровнять отдачу тока, нужно применять аккумуляторы, а это – дополнительные дорогостоящие издержки. Есть еще одна немаловажная проблема в этой сфере. Дело в том, что размещать ветроагрегаты близко друг к другу нельзя, потому что они будут создавать взаимные помехи и «отбирать» ветер один у другого.

Но, несмотря на эти очевидные минусы, ученые считают, что за возобновляемыми источниками энергии будущее. По исследованиям Международного энергетического агентства энергопотребление на Земле удваивается каждые 10 лет. При таком росте угля человечеству хватит на 250 лет, нефти – на 40, а природного газа – на 65. Быстрее всего мы лишимся нефтяных запасов, потому что на земном шаре ежегодно нефти потребляется столько, сколько образуется в природных условиях за 2 миллиона лет. Что касается России, то тут удачнее дела обстоят с газом, так как она владеет 40% мировых разведанных запасов. Но, нужно помнить, что газ из легкодоступных месторождений иссякает, приходится разрабатывать более сложные удаленные районы, что увеличивает себестоимость сырья.

В последние годы при разработках новых технологий получения энергии очень большое внимание уделяют освоению ветроэнергоресурсов. Ветроэнергетика стремительно развивается во многих странах мира [1-3].

Целью работы является оценка потенциала ветроэнергетических ресурсов и условий эксплуатации ВЭУ в Самарской области, а также расчет средней скорости ветра на различных высотах.

В качестве исходных данных использованы материалы из справочника по климату СССР.

Основное содержание работы. Ветроэнергетический потенциал Самарской области. Для обоснования использования ВЭУ в том или ином районе можно использовать значение средней скорости ветра. При этом в грубом приближении уровень $V > 5$ м/с характеризует высокий ветроэнергетический потенциал данной местности.

Однако стоит учитывать то, что куб средней не равен среднему кубу скорости ветра, поэтому при таком подходе возможны ошибки, приводящие к занижению фактического значения ветроэнергетического потенциала, связанные с методом его определения. Так, в начале XX века, для этих целей часто использовали только среднюю скорость ветра, отсюда удельная мощность ветра занижалась более чем в 3 раза. При использовании повторяемости различных ветров в виде дискретных градаций занижали оценку на 15%. И лишь удачно подобранная функция распределения скоростей ветра, учитывающая его непрерывность, дает результаты близкие к действительности.

Являясь горизонтальным движением воздуха, ветер, как и всякое движение, обладает определённой кинетической энергией. Потенциальные запасы энергии ветра связаны со скоростью ветра и описываются выражением

$$w = \frac{1}{2} \rho S v^3 t \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха; S - площадь поперечного сечения (ометаемая площадь), через которое проходит поток воздуха за время t . Отсюда удельная

ветроэнергетическая мощность воздушного потока, приходящаяся на единицу площади в единицу времени, будет равна

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (2)$$

Временной изменчивостью ρ в приземном слое обычно пренебрегают, поскольку её вариации не превышают 10% значения плотности воздуха для стандартной атмосферы ($\rho_c = 1,226 \text{ кг/м}^3$).

При взаимодействии ветра с ВЭУ, он будет совершать работу $A_{\text{ветра}}$ по вращению ветроколеса, тогда согласно физическому смыслу кинетической энергии

$$A_{\text{ветра}} = W \quad (3)$$

Если известна плотность распределения скорости ветра $f(v)$ то потенциальную среднюю удельную мощность ветрового потока можно оценить по формуле

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv \quad (4)$$

В качестве $f(v)$ в формуле (3.4) нами предлагается использовать закон Марченко-Анисимовой. Однако $F(v)$ в равенстве является интегральной функцией деления скоростей ветра, в то время как $f(v)$ - дифференциальная вероятность скоростей ветра. Можно показать, что производя дифференцирование $F(v)$ по v

$$F'(v) = e^{-\beta \left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^{\gamma}} \beta \gamma \bar{v}^{\gamma} v^{\gamma-1} \quad (5)$$

а затем, заменив в равенстве (4) $f(v) = F'(v)$ получим:

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 e^{-\beta \left(\frac{v}{\bar{v}}\right)^{\gamma}} \beta \gamma \bar{v}^{\gamma} v^{\gamma-1} dv \quad (6)$$

Выполнив интегрирование выражения (6), получим окончательную формулу для расчёта удельной мощности ветрового потока, основанную на параметрах β и γ обобщенного закона деления, разработанного с учетом рекомендаций Марченко и Анисимовой, в виде

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \beta \bar{v}^3 \Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right) \quad (7)$$

где Γ - гамма функция при расчетах используется свойство $\Gamma(x + 1) = x\Gamma(x)$, $\bar{v}$ - средняя скорость ветра.

При известных параметрах $\beta = 0,88$ и $\gamma = 1,37$ для нахождения $N_{уд}$ на требуемой высоте необходимы только данные о средней скорости ветра на уровне оси ветроколеса. Используя значения параметров β и γ и значения гамма-функции от них, приведем формулу (7) к виду

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \cdot 3,176 \cdot \bar{v}^3 \quad (8)$$

Как следует из формулы (8), действительно вблизи земной поверхности удельная мощность ветрового потока пропорциональна кубу средней скорости, но она в рассматриваемом регионе должна быть увеличена в 3,176 раза.

Для расчёта удельного ветроэнергетического потенциала используем данные средних скоростей ветра из Справочника по климату СССР, и воспользуемся формулой (8).

Эта формула определяет теоретическую (потенциальную) величину ветровой энергии и является верхним пределом запасов ветровых ресурсов, так как не учитывает потери преобразования. Вырабатываемая ВЭУ мощность зависит следующих факторов: куба скорости ветра; плотности и турбулентности воздуха; радиуса лопасти (ометаемой площади); эффективности винта и генератора; стартовой и номинальной скорости ветра (при которых аэрогенератор начинает работать и развивает номинальную мощность); номинальной мощности ВЭУ.

Результаты расчетов по данным метеостанций показали, что величина удельной мощности меняется в значительных пределах. Для более наглядного примера приведем графики временного изменения удельной мощности. Графики построены для всех исследуемых станций и представлены на рисунке 1.

Построенные графики в соответствии с рисунком 1 исследования годового хода в разных районах Самарской области показывают что с сентября

по март удельная мощность ветрового потока достаточно высокая от 150 Вт/м² до 450 Вт/м².

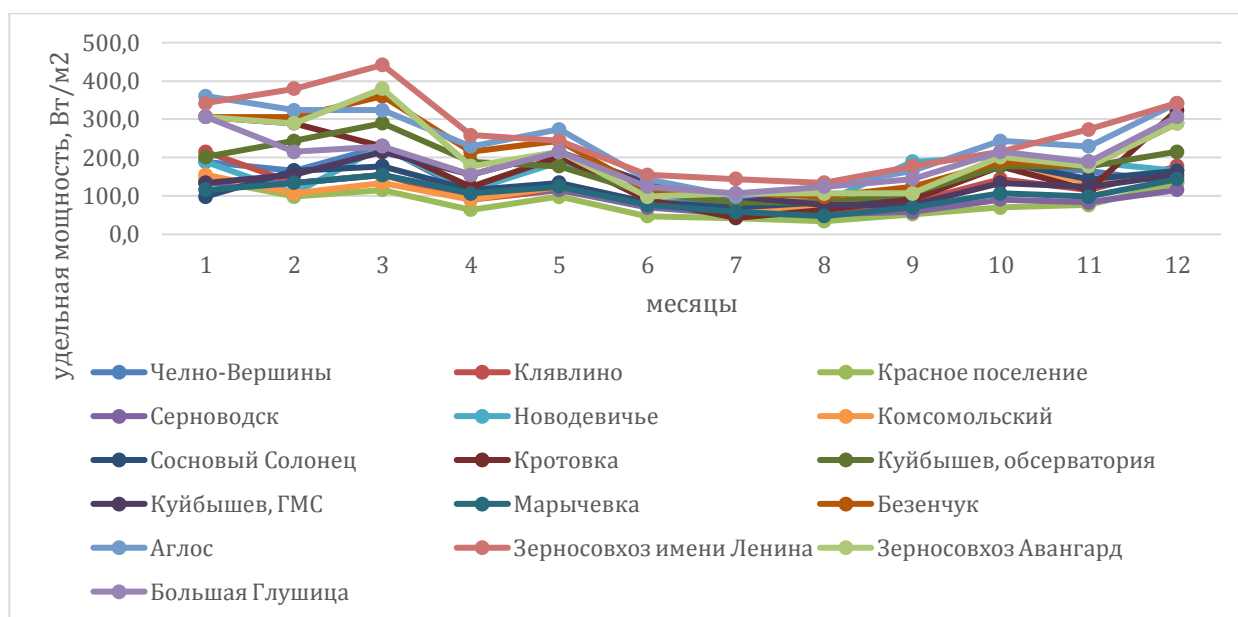


Рисунок 1 - Годовой ход удельной мощности ВЭУ (составлено автором)

Это говорит о том, что Самарская область в целом обладает достаточным ветроэнергетическим потенциалом для использования ветроэнергетических установок не только в зимний – осенний период но и летом удельная мощность ветрового потока достаточно высокая. Поэтому ВЭУ можно использовать круглый год без простоя.

Средние скорости ветра на различных высотах приземного слоя атмосферы в Самарской области. В настоящей главе рассматриваются климатические закономерности изменения средней скорости ветра с высотой. Для надёжной оценки потенциальных и утилизируемых ветроэнергоресурсов, в частности на высоте установки ветроколеса, важная роль принадлежит, наряду с оценкой параметров распределения скоростей ветра, расчёту средней скорости на заданной высоте по наземным данным.

Для определения изменения средней скорости с высотой, были взяты данные средних месячных и годовых скоростей ветра из справочника по

климату СССР. Для нахождения изменения средней скорости с высотой были взяты высоты на высоте флюгера, 50 м и 100 м. Чтобы найти средние скорости ветра на высотах 50 м и 100 м, использовались формулы:

$$V_{50}=V_0*(50/h)*m \quad (9)$$

$$V_{100}=V_0*(100/h)*m \quad (10)$$

где h – средняя скорость ветра на высоте флюгера, V_0 – средняя скорость ветра на высоте флюгера за год по данным взятым из справочника по климату СССР, m – безразмерный параметр.

Но для получения этих данных (V_{50} и V_{100}), нужно найти параметр m по средним годовым значениям:

$$m=0,864*\exp*(-0,31*V_0), \quad (11)$$

На основе уравнений нами рассчитаны значения параметров V_{50} , V_{100} и m для рассматриваемых станций выполнено сравнение их со значениями скорости ветра на высоте флюгера, взятых из непосредственных наблюдений. Оказалось, что с высотой скорость ветра заметно возрастает, если на высоте 50 м в 1,5 раза, то на высоте 100 м почти в 2 раза.

Для исследования годового хода средней скорости ветра были взяты 16 станций, которые находятся на определённом расстоянии друг от друга, чтобы подробно узнать изменение средней скорости ветра с высотой в Самарской области. Среднюю скорость ветра так же считали по формулам (9) и (10), но сначала был рассчитан параметр m для месяцев:

Сентябрь-май

$$m=0,798*\exp*(-0,28*V_0) \quad (12)$$

Июнь-август

$$m=0,911*\exp*(-0,35*V_0) \quad (13)$$

Были рассчитаны средние скорости ветра на высоте 50 м и 100 м в соответствии с таблицами 1 и 2, что позволило нам построить графики

изменения ветра за год по каждому месяцу по эти высотам. В качестве примера приведем графики, построенные на высоте 50 м.

Таблица 1 – Средние скорости ветра (м/с) на высоте 50 м по станциям Самарской области (составлено автором)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Челно-Вершины	6,30	6,13	6,54	5,63	5,80	5,13	5,13	5,05	5,54	6,22	6,13	5,88	5,8
Клявлино	6,58	6,02	6,18	5,60	5,85	5,17	4,86	4,94	5,51	6,10	5,85	6,34	5,7
Красное поселение	6,10	5,68	5,85	5,24	5,68	4,78	4,70	4,53	5,05	5,33	5,42	6,02	5,4
Серноводск	6,02	6,02	6,18	5,77	5,85	5,10	4,86	4,86	5,15	5,60	5,51	5,85	5,6
Новодевичье	6,42	5,77	6,66	5,85	6,42	5,47	5,32	5,25	6,42	6,50	6,42	6,26	6,1
Комсомольский	6,05	5,63	5,88	5,46	5,80	5,13	4,89	4,97	5,72	6,30	5,88	6,13	5,7
Сосновый Солонец	5,84	6,40	6,48	6,00	6,16	5,38	5,24	5,38	5,75	6,56	6,24	6,40	6,0
Кротовка	7,05	6,97	6,66	5,93	6,50	5,32	4,70	5,02	5,60	6,34	5,85	7,13	6,1
Куйбышев, обсерватория	6,50	6,74	6,97	6,42	6,34	5,47	5,25	5,25	5,77	6,34	6,34	6,58	6,2
Куйбышев, ГМС	6,16	6,32	6,71	6,32	6,71	5,81	5,53	5,31	5,58	6,16	6,08	6,32	6,1
Марычевка	5,85	6,02	6,18	5,77	5,93	5,17	4,94	4,78	5,33	5,77	5,68	6,10	5,6
Безенчук	6,84	6,84	7,09	6,35	6,52	5,34	5,26	5,18	5,68	6,19	6,10	6,76	6,2
Аглос	7,28	7,13	7,13	6,66	6,89	5,77	5,40	5,62	6,26	6,74	6,66	7,20	6,6
Зерносовхоз имени Ленина	7,20	7,36	7,59	6,81	6,74	5,84	5,77	5,69	6,34	6,58	6,89	7,20	6,7
Зерносовхоз Авангард	7,17	7,09	7,47	6,48	6,71	5,53	5,60	5,60	5,92	6,63	6,48	7,09	6,5
Большая Глушица	7,05	6,58	6,66	6,18	6,58	5,62	5,47	5,62	6,10	6,58	6,42	7,05	6,3

Таблица 4.2 – Средние скорости ветра (м/с) на высоте 100 м по станциям Самарской области (составлено автором)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Челно-Вершины	7,34	7,21	7,53	6,81	6,95	6,17	6,17	6,12	6,74	7,27	7,21	7,01	6,9
Клявлино	7,60	7,17	7,29	6,85	7,04	6,27	6,06	6,12	6,78	7,23	7,04	7,42	6,9
Красное поселение	7,23	6,91	7,04	6,57	6,91	6,01	5,96	5,84	6,42	6,64	6,71	7,17	6,6
Серноводск	7,17	7,17	7,29	6,98	7,04	6,22	6,06	6,06	6,49	6,85	6,78	7,04	6,8
Новодевичье	7,48	6,98	7,66	7,04	7,48	6,47	6,37	6,32	7,48	7,54	7,48	7,36	7,1
Комсомольский	7,64	6,81	8,38	7,23	7,99	6,70	6,76	6,43	8,12	7,50	7,87	7,21	7,4
Сосновый Солонец	8,25	6,49	6,90	6,67	7,17	6,48	6,20	6,11	7,63	7,64	7,23	7,52	7,0
Кротовка	5,46	6,56	7,03	6,93	6,58	6,19	7,02	6,75	6,85	7,58	7,58	6,42	6,7
Куйбышев, обсерватория	8,66	8,18	7,31	6,50	7,75	6,13	5,05	5,78	6,61	7,42	6,43	8,71	7,0
Куйбышев, ГМС	8,42	8,68	8,56	7,98	7,27	6,26	6,22	6,63	7,72	8,06	8,20	8,33	7,7
Марычевка	7,40	7,52	8,14	7,90	8,53	7,56	7,30	7,05	6,84	7,53	7,47	7,40	7,6
Безенчук	5,58	5,87	5,98	5,81	5,98	5,47	5,07	4,82	5,61	5,95	5,87	6,08	5,7
Аглос	7,72	7,88	8,32	7,50	7,54	6,19	6,59	6,08	6,69	7,10	7,03	7,65	7,2
Зерносовхоз имени Ленина	8,23	7,78	7,57	7,48	8,03	6,56	5,87	6,46	7,25	7,92	7,39	8,08	7,4
Зерносовхоз Авангард	8,40	8,80	8,76	8,59	8,07	7,64	7,31	7,14	8,48	7,86	8,76	8,49	8,2
Большая Глушица	7,96	8,39	9,07	7,63	7,60	6,08	6,47	6,24	6,54	7,44	7,31	7,81	7,4

Максимальные значения средних скоростей ветра на высоте 50 м в годовом ходе отмечаются с января по март, в мае и октябре месяцах. Минимальные значения отмечаются в июле и августе. Такая же картина прослеживается и на других станциях Волгоградской области.

При анализе таблицы 2 со средней скоростью ветра на высоте 100 м, прослеживается такое же внутригодовое распределение скорости ветра. Более высокие скорости ветра с января по март, в мае и октябре, минимальные – летом.

Заключение. В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1 Для восстановления среднего многолетнего профиля скорости ветра с высотой можно с успехом использовать как степенную, так и логарифмическую формулы. К основным недостаткам степенного закона изменения скорости ветра с высотой следует отнести малопонятный физический смысл параметра m , зависящего от целого ряда факторов. В отличие от этого, параметр z_0 в логарифмической формуле имеет размерность и чёткий физический смысл величины высотного уровня, на котором средняя скорость под влиянием шероховатости поверхности становится равной нулю. Однако между указанными параметрами имеется функциональная связь, но не линейного, а параболического характера. Выявленная зависимость позволяет осуществить однозначный взаимный переход от одного параметра к другому, а мало физически обоснованному параметру m придать более сложный физический смысл, выражающийся через шероховатость подстилающей поверхности.

2 Для расчёта средних месячных и годовых скоростей ветра в рассматриваемом регионе использовался степенной закон, его параметры рассчитывались по методике разработанной в работе (Рыхлов А. Б. 2012г.).

3 Исследования годового хода в разных районах Самарской области показывают что с сентября по март удельная мощность ветрового потока достаточно высокая от 150 Вт/м² до 450 Вт/м². Это говорит о том, что Самарская область в целом обладает достаточным ветроэнергетическим

потенциалом для использования ветроэнергетических установок не только в зимний – осенний период но и летом удельная мощность ветрового потока достаточно высокая. Поэтому ВЭУ можно использовать круглый год без простоя.

4 Выявлены особенности годового хода средней скорости ветра. Они сводятся к тому, что чётко выделяются два периода с наибольшими и наименьшими значениями. Наибольшие их значения отмечаются с января по март, в мае и в октябре. Максимум среднемесячных скоростей ветра на рассматриваемой территории может отмечаться в любой месяц этого периода. Точность их расчёта не позволяет надёжно выделить общий приоритетный месяц. В целом холодный период следует характеризовать как наиболее благоприятный для среднемесячных скоростей ветра. Наименьшая среднемесячная скорость ветра характерна для периода с июня по август. Эти особенности проявляются на всех рассмотренных высотах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Абдрахманов, Р.С. Возобновляемые источники энергии / Р.С. Абдрахманов, Ю.П. Переведенцев // -Казань: Изд-во КГУ. 1992. -С. 70-91.

2 Борисенко, М.М. Методические указания проведение изыскательных работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок / М.М. Борисенко, А.Д. Дробышев, В.П. Харитонов // -М.: Изд-во Наука, 1992. -С. 4-7.

3 Бызова, Н.Л. Метеорологический режим нижнего трёхсотметрового слоя атмосферы / Н.Л. Бызова // -М.: Изд-во Гидрометеиздат, 1984. -С. 13-16.

4 Рыхлов, А.Б. К вопросу об аппроксимации скоростей ветра на юго-востоке Европейской территории России законом распределения Вебулла-Гудрича [Электронный ресурс]: /А.Б. Рыхлов // Электронная версия журнала «Известия СГУ. Науки о земле» -URL:

<http://www.sgu.ru/files/izvestia/full/05.PDF>. (дата обращения: 29.05.2020). -Загл. с экрана. -Яз. рус.

5 Рыхлов, А.Б. Разработка методов климатологической оценки ветроэнергетического потенциала на различных высотах (на примере юго-востока европейской части России). Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2012. -200 с.

6 Нефедова, Л.В. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии в России и мире / Л.В. Нефедова // География, общество, окружающая среда: -М., Изд-во Общество, 2004. -660 с.

7 Ветроэнергетика // БСЭ. 2-е изд. Т. 7. -М.: Изд-во БСЭ, 1951. -С. 597-598.

8 Красовский, Н.В. Ветровые энергоресурсы СССР и перспективы их использования / Н.В. Красовский // Генеральный план электрификации СССР. - М.: Изд-во Наука, 1932. Т. 1. -С. 440-464.

9 Гриневич, Г.А. Основы энергетической характеристики режима ветра. / Г.А. Гриневич. -М.: Изд-во Общество, 1963. -С. 26-85.

10 Подтягин, М.Е. Вероятная скорость ветра в СССР / М.Е. Подтягин.// М.: Вестн. СГМС. 1934. № 5-6 -С. 19-21.

11 Милевский, В.Ю. Вероятность ветра различной скорости на территории СССР / В.Ю. Милевский. // -Л.: Изд-во ЛГМИ. 1961. Вып. 12. -С. 58-97.

12 Сапожникова, С.А. Изменение скорости ветра с высотой в нижнем слое воздуха/ С.А. Сапожникова. // -М.: Тр. НИУ ГУГМС. 1946. Сер. 1. Вып. 33. -103 с.

13 Складов, В.М. Ветер в пограничном слое атмосферы над территорией СССР. Ч. 1. Европейская территория СССР. / В.М. Складов. М.: Изд-во Наука, 1968. -476 с.

14 Брагинская, Л.Л. О климатических ветроэнергоресурсах. / Л.Л. Брагинская // -Л.: Труды ГГО, 1982. – С 447-457.

15 Анапольская, Л.Е. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки /Л.Е. Анапольская, Л.С. Гандин. // М.: Метеорология и гидрология. 1978. № 7. - С. 11-17.

16 Самарская область [Электронный ресурс]: [сайт] -URL: <http://images.yandex.ru/yandsearch?imgexp> (дата обращения: 29.05.2020). -Загл. с экрана. -Яз. рус.

17 Ветрогенераторы [Электронный ресурс]: [сайт] -URL: <http://elektricof.at.ua/index/vetrogenerator/0-46> (дата обращения: 23.05.20120). - Загл. с экрана. -Яз. рус.

18 Оценка параметров законов изменения средней скорости ветра с высотой в приземном слое атмосферы на юго-востоке европейской части России для решения задач ветроэнергетики под редакцией А. Б. Рыхлова. [Электронный ресурс]: -URL: http://www.sgu.ru/massmedia/izvestia_geo/node/76320 (дата обращения 20.05.2020). -Загл. с экрана. -Яз. рус.

19 Ветроэнергетика [Электронный ресурс]: [сайт] -URL: http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2011/wind (дата обращения: 24.03.2015). -Загл. с экрана. -Яз. рус.

20 Справочник по климату СССР. Ветер. Вып. 12 -Л.: Изд-во Гидрометеиздат, 1966. -200 с.