

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

Кафедра метеорологии и климатологии

**Ветроэнергетические ресурсы республики Калмыкия на разных
высотах**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 5 курса 521 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Елисеевой Анастасии Алексеевны

Научный руководитель

профессор, д.г.н., доцент

А.Б. Рыхлов

Заведующий кафедрой

к.г.н., доцент

М.Ю. Червяков

Саратов 2021

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 углю 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.

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 республике Калмыкия, а также расчет средней скорости ветра на различных высотах.

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

Основное содержание работы. Средние скорости ветра на различных высотах приземного слоя атмосферы в республике Калмыкия.

Республика Калмыкия располагается на крайнем юго-востоке европейской части России. Протяжённость территории с севера на юг — 458 км, с запада на восток — 423 км. Регион расположен в зонах степей, полупустынь и пустынь и занимает территорию с общей площадью 75,9 тыс. км².

Оценка средних скоростей ветра на произвольных высотах в местах возможного размещения ВЭУ, где метеорологических наблюдений как правило не имеется, задача не тривиальная. В одном из вариантов её решения предусматривается интерполяция на базе данных справочников по климату средних скоростей ветра на уровне ветроизмерительного прибора в требуемом пункте. В последующем производится уточнение их значений на требуемой высоте по формулам (1).

$$\left. \begin{aligned} V_{30} &= V_0 \cdot \left(\frac{30}{h}\right)^m \\ V_{50} &= V_0 \cdot \left(\frac{50}{h}\right)^m \\ V_{70} &= V_0 \cdot \left(\frac{70}{h}\right)^m \\ V_{90} &= V_0 \cdot \left(\frac{90}{h}\right)^m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

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 республике Калмыкия. Среднюю скорость ветра считали по формулам (1), но сначала был рассчитан параметр m для месяцев:

Сентябрь-май

$$m=0,798*\exp*(-0,28*V_0) \quad (2)$$

Июнь-август

$$m=0,911*\exp*(-0,35*V_0) \quad (3)$$

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Далее с помощью степенной формулы (1), где V_0 - средняя скорость ветра на высоте флюгера м/с; h – высота флюгера, m – безразмерный параметр, были рассчитаны средние скорости ветра на высотах 30, 50, 70 м и 90 м. По полученным результатам построены графики годового хода скорости ветра по высотам. Таблица 1 – Параметр m (составлено автором)

Таблица 1 – Параметр m (составлено автором)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Малые Дербеты	0,208	0,226	0,214	0,233	0,246	0,241	0,258	0,277	0,297	0,283	0,260	0,239
Аршань-Зельмень	0,220	0,208	0,220	0,239	0,268	0,250	0,277	0,277	0,297	0,299	0,233	0,246
Советское	0,197	0,202	0,197	0,226	0,253	0,225	0,233	0,250	0,268	0,275	0,239	0,220
Юста	0,208	0,202	0,208	0,220	0,220	0,195	0,241	0,241	0,250	0,275	0,220	0,233
Сарпа	0,181	0,171	0,166	0,181	0,197	0,170	0,195	0,195	0,202	0,220	0,191	0,191
Утта	0,233	0,214	0,214	0,233	0,246	0,233	0,287	0,287	0,277	0,299	0,246	0,275
Элиста	0,149	0,137	0,126	0,133	0,153	0,148	0,170	0,189	0,182	0,191	0,145	0,153
Хулхута	0,202	0,197	0,186	0,208	0,233	0,202	0,225	0,225	0,233	0,260	0,214	0,214
Яшкуль	0,220	0,208	0,197	0,208	0,220	0,209	0,233	0,250	0,258	0,268	0,226	0,226
Башанта	0,145	0,119	0,126	0,141	0,191	0,202	0,225	0,217	0,217	0,197	0,141	0,141
Красный Коневод	0,208	0,186	0,186	0,191	0,208	0,182	0,209	0,217	0,217	0,246	0,191	0,220
Адык	0,202	0,186	0,186	0,186	0,197	0,182	0,202	0,225	0,217	0,253	0,197	0,226
Нарын-Худук	0,208	0,197	0,181	0,186	0,208	0,176	0,202	0,209	0,225	0,253	0,208	0,208
Каспийский	0,157	0,149	0,153	0,145	0,171	0,158	0,189	0,182	0,176	0,202	0,157	0,157
Комсомольский	0,226	0,197	0,197	0,208	0,214	0,202	0,233	0,233	0,241	0,268	0,214	0,253
Артезиан	0,246	0,220	0,214	0,226	0,233	0,217	0,258	0,250	0,258	0,291	0,226	0,260

На рисунках 1-2 представлен годовой ход средних скоростей ветра, рассчитанных на высоте 50 м и на высоте флюгера, на станциях республики Калмыкия.

При анализе графиков видно, что 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 республики Калмыкия. Это наглядно видно из рисунков. Также видно, что скорости на высоте 50 м выше, чем на высоте флюгера.

При анализе данных со средней скоростью ветра на высотах 30, 70 и 90 м, прослеживается такое же внутригодовое распределение скорости ветра. Более высокие скорости ветра с января по март, в мае и октябре, минимальные – летом.

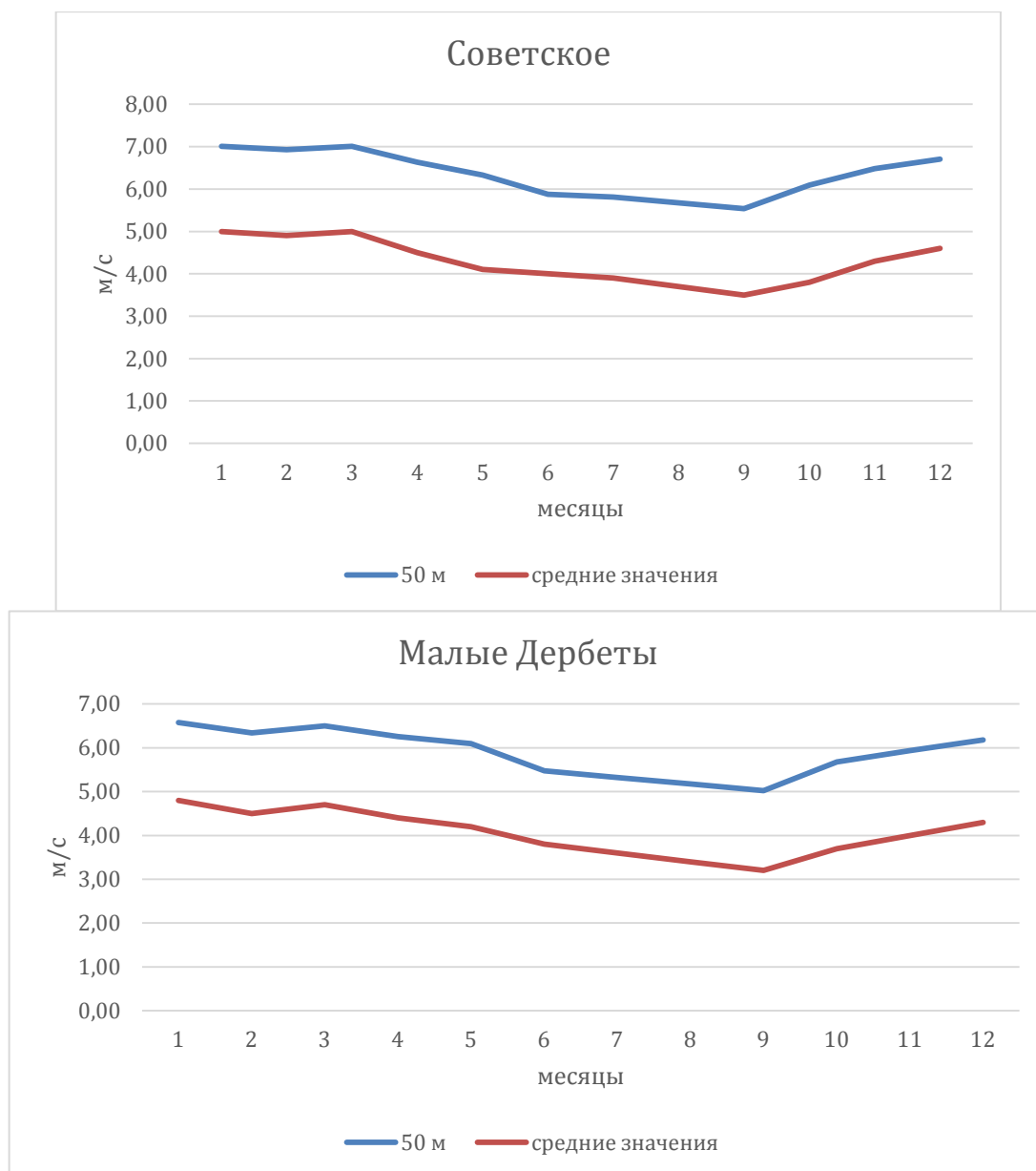


Рисунок 1 – Годовой ход средней скорости ветра на высоте 50 м и на высоте флюгера на станциях (Малые Дербеты, Советское) республики Калмыкия (составлено автором)

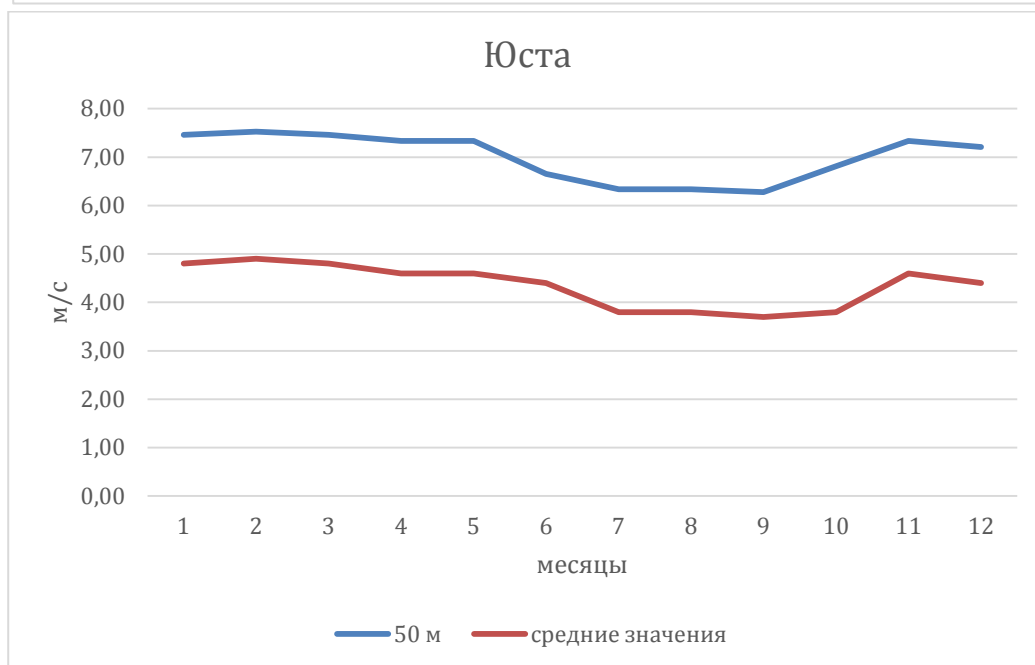
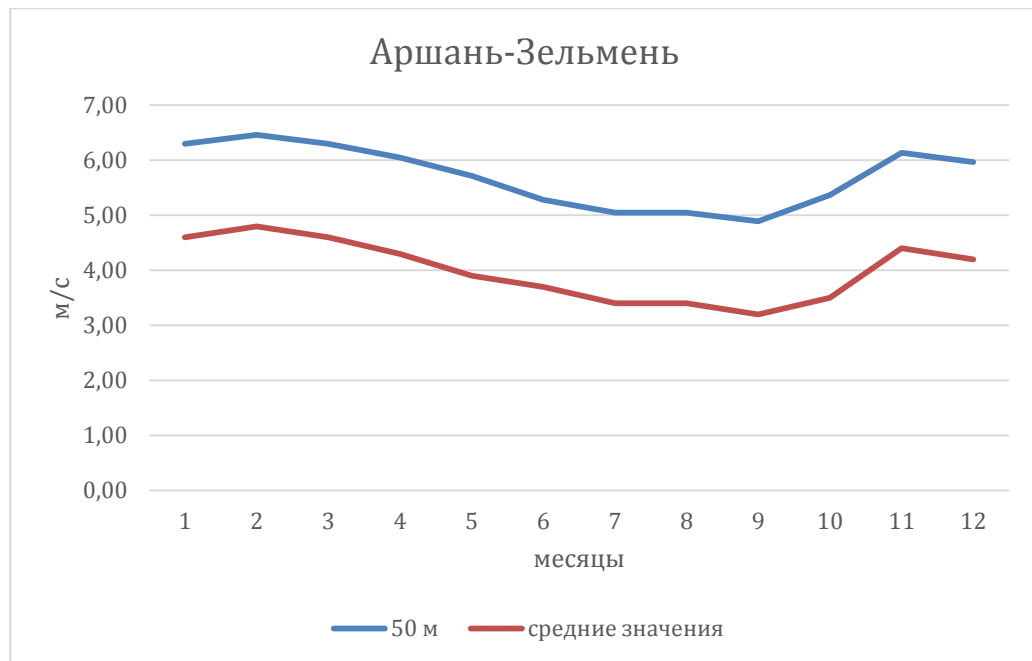


Рисунок 2 – Годовой ход средней скорости ветра на высоте 50 м и на высоте флюгера на станциях (Аршань-Зельмень, Юста) республики Калмыкия (составлено автором)

Ветроэнергетический потенциал республики Калмыкия. 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.

Формула для расчёта удельной мощности ветрового потока, основанную на параметрах β и γ обобщенного закона деления, разработанного с учетом рекомендаций Марченко и Анисимовой, выглядит следующим образом:

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \beta^{\frac{3}{\gamma}} \bar{v}^3 \Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right) \quad (4)$$

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 (4) к виду

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \cdot 3,176 \cdot \bar{v}^3 \quad (5)$$

Для расчёта удельного ветроэнергетического потенциала используем данные средних скоростей ветра из Справочника по климату СССР, и воспользуемся формулой (5).

Эта формула определяет теоретическую (потенциальную) величину ветровой энергии и является верхним пределом запасов ветровых ресурсов, так как не учитывает потери преобразования.

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 3.

Рассмотрим более подробно некоторые из них. Из рисунка 3 видно, что для станции Башанта максимальные значения удельной мощности отмечаются в феврале и ноябре, декабре и изменяются в диапазоне от 450 до 620 Вт/м²; минимальные значения в июле, августе и составляют 124 и 136 Вт/м² соответственно.

Для станции Малые Дербаты максимальные значения удельной мощности отмечаются в январе, марте и в декабре и составляют 215 и 177 и 154 Вт/м² соответственно. Минимальные значения отмечались в августе и сентябре (76 и 63 Вт/м²).

Для станции Аршань-Зельмень максимальные значения удельной мощности отмечаются в январе, феврале и в ноябре и составляют 189 и 215 и 165 Вт/м² соответственно. Минимальные значения также отмечались в августе и сентябре (76 и 63 Вт/м²).

Для станции Артезиан максимальные значения удельной мощности отмечаются в январе, феврале и в ноябре и составляют 189, 202 и 177 Вт/м² соответственно. Минимальные значения наблюдались с июля по октябрь (90-98 Вт/м²).

Максимум среднегодовых значений удельной мощности отмечается на станциях Элиста, Башанта и Каспийский.

Построенные графики в соответствии с рисунком 3 исследования годового хода в разных районах республики Калмыкия показывают, что с сентября по март удельная мощность ветрового потока достаточно высокая от 100 Вт/м² до 600 Вт/м². Это говорит о том, что республика Калмыкия 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.

Также была посчитана удельная мощность и на различных высотах. Величина удельной мощности меняется в значительных пределах как по высотам, так и от месяца к месяцу в соответствии с таблицей 2.

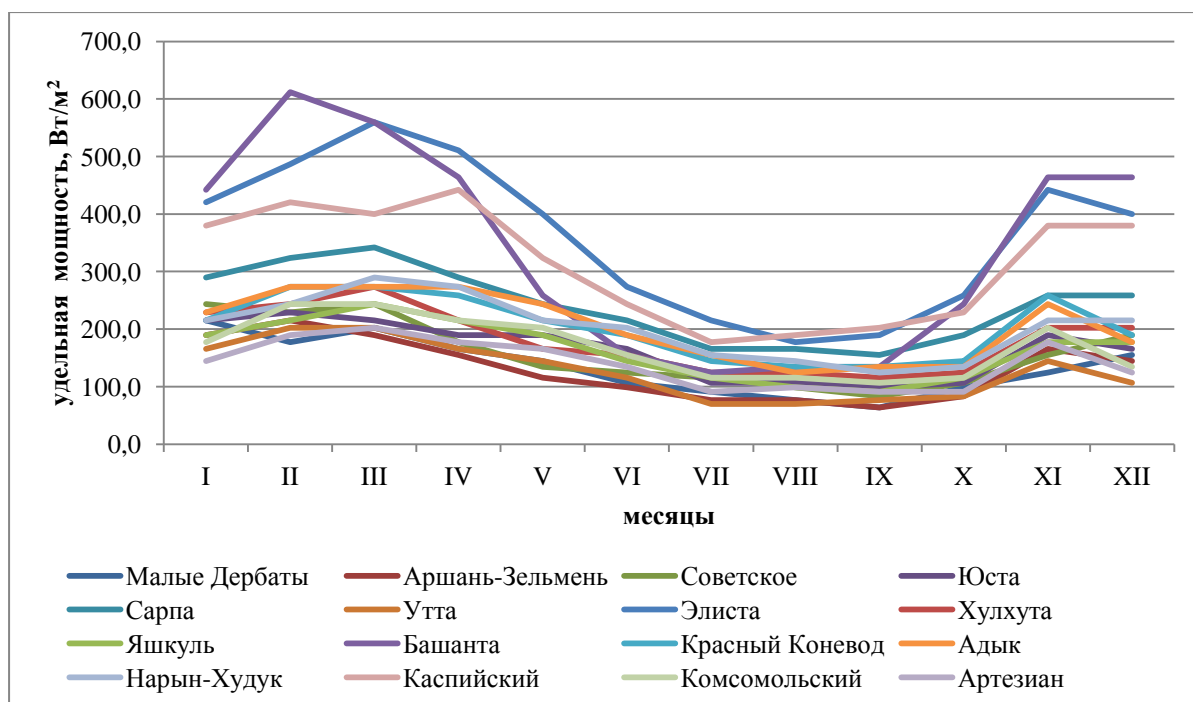


Рисунок 3 - Годовой ход удельной мощности ВЭУ (составлено автором)

Таблица 2 - Средняя месячная удельная мощность ветрового потока на высоте 30 м (составлено автором)

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Малые Дербеты	402,82	350,65	384,95	334,19	302,63	220,62	197,71	176,22	156,08	231,27	272,82	318,18
Аршань-Зельмень	347,04	381,52	347,04	298,91	241,10	195,81	163,92	163,92	144,43	190,15	314,49	283,79
Советское	495,38	475,75	495,38	401,84	334,84	280,49	267,60	242,86	219,45	288,83	367,51	419,64
Юста	588,13	608,53	588,13	548,47	548,47	425,82	341,92	341,92	328,98	403,75	548,47	510,30
Сарпа	526,19	569,25	591,58	526,19	465,50	376,78	315,68	315,68	301,47	391,44	485,23	485,23
Утга	357,19	409,25	409,25	357,19	324,70	248,62	180,18	180,18	190,75	223,99	324,70	264,75
Элиста	758,43	837,24	921,48	864,70	733,32	491,52	422,14	374,75	390,12	551,54	784,11	733,32
Хулхута	554,17	574,60	616,80	534,16	458,22	374,32	332,26	332,26	318,90	388,33	514,57	514,57
Яшкуль	453,58	491,43	531,05	491,43	453,58	330,98	290,52	265,24	253,08	333,93	435,30	435,30
Башанта	682,93	875,52	817,19	708,50	459,39	284,53	245,01	257,78	257,78	440,03	708,50	708,50
Красный Коневод	427,52	505,45	505,45	485,23	427,52	345,35	287,68	274,28	274,28	324,70	485,23	391,44
Адык	511,01	572,50	572,50	572,50	531,05	390,12	345,19	303,66	317,14	366,18	531,05	435,30
Нарын-Худук	402,82	440,03	499,66	479,26	402,82	343,15	284,53	270,95	245,01	287,51	402,82	402,82
Каспийский	585,33	632,92	608,82	657,63	518,40	376,05	297,93	312,61	327,75	399,51	585,33	585,33
Комсомольский	401,84	495,38	495,38	456,59	437,89	321,38	267,60	267,60	255,06	303,78	437,89	334,84
Артезиан	350,97	419,64	437,89	401,84	384,46	293,74	230,99	242,86	230,99	260,06	401,84	319,12

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 республики Калмыкия показывают что с сентября по март удельная мощность ветрового потока достаточно высокая от 100 Вт/м^2 до 600 Вт/м^2 . Это говорит о том, что республика Калмыкия 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.

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.

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