

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Ветроэнергетические ресурсы Ульяновской области**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Прониной Катерины Александровны

Научный руководитель,

профессор, д.г.н., доцент

\_\_\_\_\_

А.Б.Рыхлов

Заведующий кафедрой,

д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

М.Б. Богданов

Саратов 2017

**Введение.** Ограничность мировых запасов топлива и энергии, неравномерность их распределения по планете, ухудшение экологической ситуации все острее ставят вопрос о всемирном использовании нетрадиционных экологически чистых энергетических технологий и использовании возобновляемых энергоресурсов. Интерес к использованию энергии ветра, источника нескончаемого, не прошел, и, более того, техника XX века открыла для этого совершенно новые возможности.

Активное использование экологически чистых источников энергии сейчас всячески приветствуется как мировой общественностью, так и правительствами развитых стран.

Из таких энергоресурсов наиболее распространенным и доступным является ветер. Эксплуатация ветроустановок не требует топлива и воды, они могут быть полностью автоматизированы, отчуждаемая территория минимальна и по расчетам составляет  $3 - 5 \text{ м}^2/\text{kВт}$  установленной мощности. Эти установки практически полной заводской готовности, и для их монтажа требуется минимум времени (фундамент и подключение к сети).

В связи с глобальными и региональными изменениями климата, в том числе глобальным потеплением, которое происходит в результате сгорания топлива и выброса в атмосферу большого количества  $\text{CO}_2$ , и увеличением частоты экстремальных погодных явлений, возрастают потребность в надежной информации об опасных явлениях погоды, в том числе о максимальной скорости ветра. Возрастание потребности человечества в энергетических ресурсах приводит к необходимости поисков и более широкого использования альтернативных источников энергообеспечения.

Проблема использования энергии ветра в наши дни приобрела большую актуальность. Век дешевой энергии в России подошел к концу и использование средств нетрадиционной энергетики будет постоянно становиться более экономически целесообразным.

Целью бакалаврской работы является оценка ветроэнергетические ресурсы в Ульяновской области на различных высотах приземного слоя атмосферы,

необходимые для целесообразного применения различных ветроэнергетических установок.

Для её достижения поставлены и решены следующие задачи:

1.Ознакомится с историей развития, состоянием и дальнейшими перспективами ветроэнергетики в мире.

2.Рассмотреть климатическую информацию для обеспечения ветроэнергетики.

3.Установить закон распределения скоростей ветра в Ульяновской области.

4.Оценить средние скорости ветра на различных высотах приземного слоя.

5.Определить удельную мощность на различных высотах в течении года.

В качестве исходных данных использованы данные из Справочника по климату. В результате исследования, путем расчетных методов, удалось найти потенциальную среднюю удельную мощность ветрового потока на высотах 10, 30, 50, 70 и 90 м.

**Основное содержание работы.** При использовании значений параметров обобщенного закона распределения, нами были получены теоретические повторяемости и оценена разница между теоретическими и эмпирическими повторяемостями скоростей ветра по трем станциям Ульяновской области: Мелекесс, Анненково и Сенгилей. Данное распределение позволяет определить ветровой режим в любой точке рассматриваемой

Для того чтобы определить производительность ВЭУ и режим ее работы в том или ином районе, необходимо располагать соответствующей информацией о ветре.

Для учета условий открытости площадок метеорологических станций наиболее доступной является классификация В. Ю. Милевского. Она позволяет читывать форму рельефа, наличие затеняющих элементов и присутствие водных поверхностей. Эту классификацию используют в Росгидромете для описания открытости всех метеорологических станций страны. Вся информацию фиксируется в справочниках по климату.

Если необходимо определить средние многолетние скоростные характеристики для пункта, где наблюдения по флюгеру не проводились, то, определив степень открытости пункта по горизонту, можно с учетом ветровых характеристик ближайших метеостанций достаточно точно судить о среднем многолетнем режиме скорости ветра в нем.

Выражение для поправочного коэффициента на открытость  $k_1$ , учитывающего переход от фактических условий местоположения к условиям открытой ровной местности, для которой  $k = 7$ , имеет вид

$$k = \frac{7}{\sum k_i p_i} \quad (4.1)$$

где  $k_i$  – класс открытости метеостанции в направлении  $i$ -го румба;  $p_i$  – повторяемость ветров этого румба.

В работе получена формула, позволяющая определить удельную мощность на произвольной высоте приземного слоя, зная среднемесячную скорость ветра:

$$\frac{\bar{v}_z}{\bar{v}_h} = \left(\frac{z}{h}\right)^m \quad (4.2)$$

из полученной формулы выразим  $v_z$ :

$$\bar{v}_z = \bar{v}_h \left(\frac{z}{h}\right)^m. \quad (4.3)$$

Значение параметра  $m$  для средних месячных значений в период с сентября по май определяются по следующей формуле:

$$m = 0,798 \exp(-0,28\bar{v}_0), \quad (4.4)$$

и в период с июня по август:

$$m = 0,911 \exp(-0,35\bar{v}_0) \quad (4.5)$$

где,  $\bar{v}_0$  – средняя скорость ветра на уровне 10 м.

Эти уравнения являются основой для решения почти всех ветроэнергетических задач на любой высоте приземного 150-200-метрового слоя атмосферы для всех известных сегодня ВЭУ.

Таблица 4.3 – Рассчитанные средние скорости ветра (м/с) на высотах (составлена автором)

Месяц	Скорости ветра м/с				
	Мелекесс				
10	30	50	70	90	
I	3,7	5,2	6,2	6,9	7,5
II	3,9	5,5	6,4	7,1	7,7
III	4,0	5,6	6,5	7,2	7,8
IV	4,4	5,9	6,8	7,5	8,0
V	4,2	5,8	6,7	7,4	7,9
VI	3,7	5,1	5,9	6,5	7,1
VII	3,3	4,8	5,6	6,3	6,8
VIII	3,2	4,7	5,5	6,2	6,8
IX	3,4	5,0	6,0	6,7	7,3
X	4,0	5,6	6,5	7,2	7,8
XI	3,8	5,4	6,3	7,0	7,6
XII	4,0	5,6	6,5	7,2	7,8
Год	3,8	5,3	6,2	6,9	7,4
Анненково					
I	4,7	5,8	6,5	6,9	7,2
II	4,8	5,9	6,5	6,9	7,2
III	5,0	6,4	7,2	7,8	8,2
IV	4,3	5,4	6,0	6,4	6,7
V	4,7	6,2	7,1	7,7	8,3
VI	3,9	5,0	5,6	6,0	6,4
VII	3,6	4,7	5,3	5,8	6,2
VIII	3,7	4,8	5,4	5,9	6,2
IX	4,1	5,3	6,0	6,5	7,0
X	4,6	5,8	6,4	6,9	7,3
XI	4,5	5,7	6,4	6,9	7,2

Продолжение таблицы 4.3

ХII	5,0	6,1	6,7	7,2	7,5
Год	4,4	5,6	6,2	6,7	7,1
Сенгилей					
I	5,8	7,2	7,9	8,5	8,9
II	5,2	6,6	7,5	8,0	8,5
III	5,1	6,5	7,4	8,0	8,4
IV	4,7	6,2	7,1	7,7	8,2
V	5,1	6,5	7,4	8,0	8,4
VI	4,4	5,7	6,4	7,0	7,4
VII	3,5	4,9	5,8	6,4	6,9
VIII	3,8	5,2	6,0	6,6	7,1
IX	5,1	6,5	7,4	8,0	8,4
X	5,8	7,2	7,9	8,5	8,9
XI	5,3	6,8	7,6	8,1	8,6
XII	5,9	7,3	8,0	8,6	9,0
Год	4,9	6,3	7,1	7,7	8,2
Безводовка					
I	4,7	6,1	6,8	7,4	7,8
II	4,8	6,1	6,9	7,4	7,9
III	4,9	6,2	7,0	7,5	7,9
IV	4,5	5,9	6,7	7,2	7,7
V	4,6	6,0	6,7	7,3	7,8
VI	3,8	5,1	5,8	6,4	6,8
VII	3,5	4,8	5,6	6,2	6,6
VIII	3,6	4,9	5,7	6,2	6,7
IX	4,1	5,5	6,3	7,0	7,5
X	4,6	6,0	6,7	7,3	7,8
XI	4,7	6,1	6,8	7,4	7,8
XII	4,8	6,1	6,9	7,4	7,9
Год	4,3	5,7	6,5	7,0	7,5
Инза					
I	4,3	5,6	6,4	7,0	7,4
II	4,8	6,1	6,9	7,4	7,8
III	4,9	6,2	7,0	7,5	7,9
IV	4,4	5,7	6,5	7,1	7,5
V	4,2	5,5	6,3	6,9	7,4
VI	3,7	5,0	5,7	6,2	6,6
VII	3,2	4,5	5,2	5,8	6,3
VIII	3,1	4,4	5,2	5,7	6,2
IX	3,6	5,0	5,8	6,5	7,0
X	4,4	5,7	6,5	7,1	7,5

Продолжение таблицы 4.3

XI	4,5	5,8	6,6	7,1	7,6
XII	4,7	6,0	6,8	7,3	7,7
Год	4,2	5,5	6,2	6,8	7,3
Павловка					
I	4,7	6,0	6,7	7,3	7,7
II	4,4	5,7	6,5	7,1	7,5
III	4,6	5,9	6,7	7,2	7,6
IV	3,7	5,2	6,0	6,6	7,1
V	4,6	5,9	6,7	7,2	7,6
VI	4,1	5,2	5,9	6,4	6,8
VII	3,3	4,6	5,4	5,9	6,4
VIII	3,6	4,9	5,6	6,1	6,6
IX	4,3	5,6	6,4	7,0	7,4
X	4,8	6,1	6,8	7,3	7,8
XI	4,3	5,6	6,4	7,0	7,4
XII	4,7	6,0	6,7	7,3	7,7
Год	4,3	5,6	6,3	6,9	7,3
Сурское					
I	4,8	6,7	7,8	8,6	9,2
II	4,8	6,7	7,8	8,6	9,2
III	5,2	7,1	8,1	8,9	9,6
IV	4,8	6,7	7,8	8,6	9,2
V	4,9	6,8	7,9	8,7	9,4
VI	4,1	5,8	6,8	7,6	8,2
VII	3,6	5,4	6,4	7,3	7,9
VIII	3,5	5,2	6,3	7,1	7,8
IX	4,3	6,2	7,3	8,2	8,9
X	5,1	6,9	8,0	8,8	9,5
XI	4,8	6,7	7,8	8,6	9,2
XII	5,2	7,1	8,1	8,9	9,6
Год	4,6	6,4	7,5	8,3	9,0

По значениям годовых скоростей ветра на заданной высоте можно сказать, что с увеличением высоты увеличиваются и скорости ветра (таблица 4.3). По сравнению со скоростью ветра на высоте флюгера, на высоте 90 метров скорость увеличивается более чем в 2 раза.

На территории всей Ульяновской области скорости ветра примерно одинаковые, однако несколько выше годовые скорости ветра наблюдаются в

северо-западной части Ульяновской области на станции Сенгелей. Это связано с географическим расположением. Максимальное значение скорости ветра на данной станции достигает 9 м/с в декабре.

Более высокие значения скорости ветра отмечаются в холодное время года. Это можно считать благоприятным фактором, так как в осенние и зимние месяцы происходит наибольшее потребление энергии.

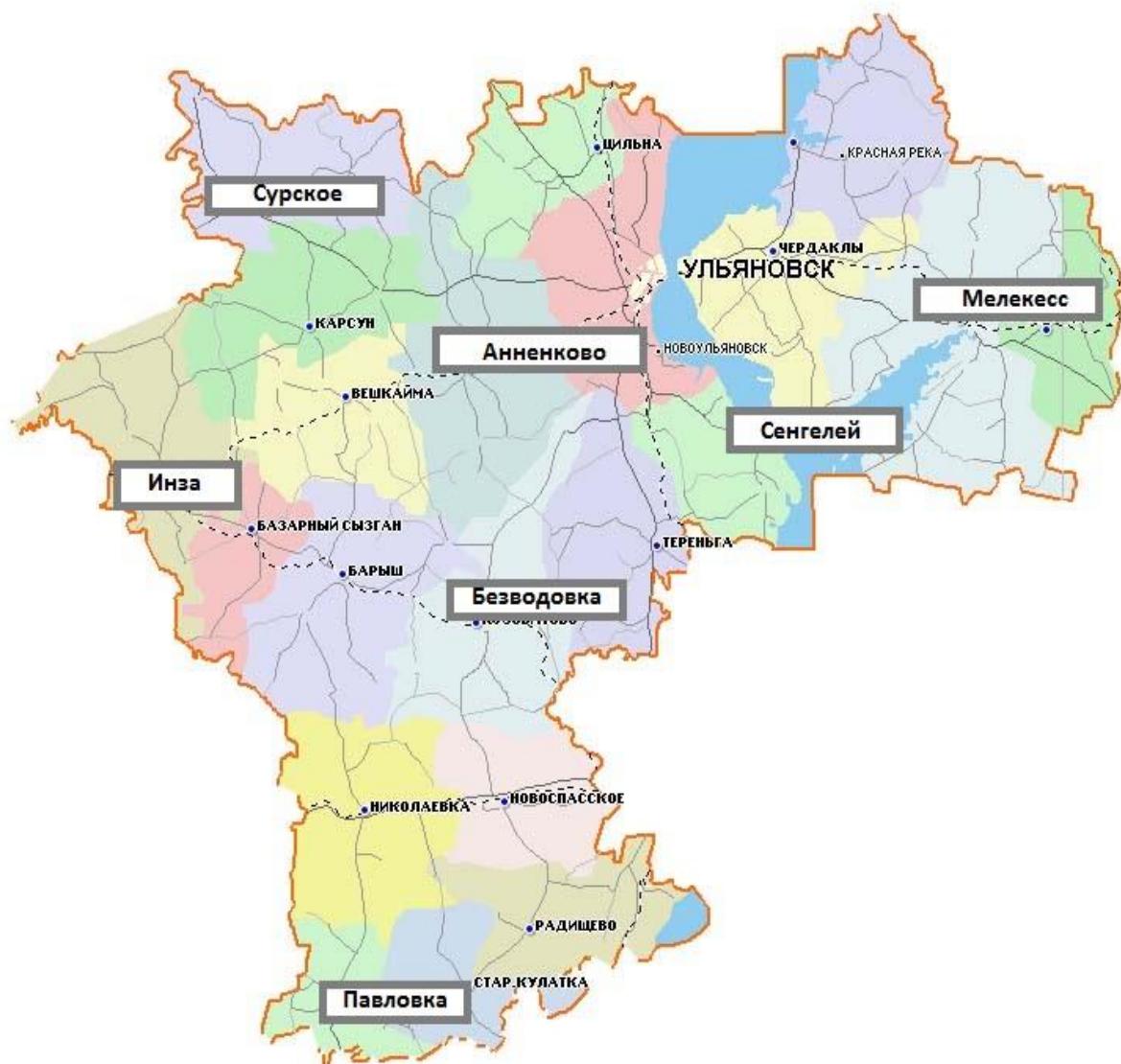


Рисунок 4.1 - Распределение метеорологических станций в Ульяновской области (составлено автором)

Для нахождения  $N_{уд}$  на требуемой высоте необходимы только данные о средней скорости ветра на уровне оси ветроколеса. Используя значения параметров  $\gamma$  и  $\beta$ , установленных нами в третьей главе и значения гамма-функции от них, приведем формулу для расчета:

$$N_{уд} = \frac{1}{2} \rho \cdot 3,176 \cdot \bar{v}^3 \quad (4.6)$$

где,  $\rho$  - значение плотности воздуха;  $\bar{v}^3$  – средняя скорость ветра

Используя данные средних скоростей ветра из таблицы 4.2.1 и формулу 4.3, получены оценки средней удельной мощности ветра на высотах 10, 30, 50, 70 и 90 м.

Данные о средней скорости ветра с метеорологических станций, взяты из Справочника по климату.

На территории Ульяновской области такие данные имеются по 8 станциям, тогда как по градациям скоростей ветра их всего 3. И это позволяет подробнее выполнить пространственное распределение ветропотенциала по территории области.

Таблица 4.4 – Потенциальная средняя удельная мощность ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) ветрового потока (составлена автором)

Месяц	Скорости ветра м/с				
	Мелекесс				
	10	30	50	70	90
I	95	279	460	640	818
II	115	318	509	695	877
III	126	338	535	723	907
IV	162	402	613	810	996
V	149	380	586	781	966
VI	96	256	404	546	683
VII	71	211	350	488	626
VIII	64	197	332	469	606
IX	78	244	413	585	758
X	126	338	535	723	907
XI	105	298	485	667	847
XII	126	338	535	723	907
Год	110	300	480	654	825

Анненково					
I	202	387	524	639	741
II	214	396	526	635	731
III	244	515	729	916	1086
IV	157	306	417	512	596
V	206	475	700	904	1094
VI	119	244	340	423	499
VII	89	202	296	380	459
VIII	96	212	306	391	469
IX	129	292	425	545	656
X	191	379	522	644	753
XI	180	364	505	627	736
XII	241	445	592	715	822
Год	172	351	490	611	720
Сенгилей					
I	378	722	977	1191	1382
II	271	571	808	1015	1204
III	252	543	776	982	1170
IV	202	465	685	885	1071
V	252	543	776	982	1170
VI	162	358	518	660	792
VII	85	234	374	511	644
VIII	103	266	413	552	685
IX	252	543	776	982	1170
X	378	722	977	1191	1382
XI	290	600	840	1049	1239
XII	402	755	1012	1228	1419
Год	252	527	745	936	1111
Безводовка					
I	201	432	618	781	931
II	214	452	639	804	953
III	229	472	661	826	975
IV	175	395	576	738	889
V	188	413	597	760	910
VI	111	260	386	501	609
VII	86	222	345	460	572
VIII	94	234	358	474	584
IX	131	325	495	654	805
X	188	413	597	760	910
XI	201	432	618	781	931
XII	214	452	639	804	953
Год	169	375	544	695	835

Продолжение таблицы 4.4

Инза					
I	151	349	514	663	803
II	218	449	630	786	928
III	233	471	654	812	955
IV	163	368	536	687	827
V	140	330	492	640	779
VI	102	239	356	462	561
VII	63	175	281	383	483
VIII	57	164	267	368	468
IX	92	246	390	527	661
X	163	368	536	687	827
XI	176	387	559	711	852
XII	203	428	606	761	903
Год	147	331	485	624	754
Павловка					
I	200	421	595	748	887
II	162	365	533	683	822
III	187	402	574	726	865
IV	102	267	417	559	697
V	187	402	574	726	865
VI	130	280	399	505	602
VII	72	191	301	407	509
VIII	94	227	342	448	548
IX	151	348	512	662	801
X	213	440	617	770	910
XI	151	348	512	662	801
XII	200	421	595	748	887
Год	154	343	498	662	766
Сурское					
I	214	574	908	1228	1539
II	214	574	908	1228	1539
III	279	691	1054	1392	1713
IV	214	574	908	1228	1539
V	234	611	955	1282	1597
VI	133	379	618	853	1084
VII	94	302	520	743	970
VIII	83	278	488	707	932
IX	160	468	771	1072	1370
X	256	651	1004	1336	1654
XI	214	574	908	1228	1539
XII	279	691	1054	1392	1713

Год	198	530	841	1141	1433
-----	-----	-----	-----	------	------

Как следует из формулы 4.6, действительно вблизи земной поверхности удельная мощность ветрового потока пропорциональна кубу средней скорости, но она в рассматриваемом регионе должна быть увеличена в 3,176 раза. При оценке ветроэнергетического потенциала на других уровнях приземного слоя атмосферы (оси ветроколеса) необходимо учитывать интенсивность изменения средней скорости ветра с высотой.

Удельная мощность с высотой нарастает гораздо сильнее и на высоте 90 метров она может в 8-9 раз больше, чем у земли. Наименьшее значение потенциальной удельной средней мощности ветрового потока на высоте флюгера составляет 110 Вт/м<sup>2</sup> на станции Мелекесс, а наибольшее значение на высоте 90 м доходит до 1433 Вт/м<sup>2</sup> отмечается на станции Сурское. Примечательно, что метеорологическая станция Сурское расположена севернее остальных станций. Это может являться причиной того, что на этой станции наибольшие значения средней удельной мощности.

Как видно из таблицы, наибольших значений средняя потенциальная удельная мощность ветрового потока достигается в холодное время года. В декабре она достигала более 400 Вт/м<sup>2</sup>. До минимальных значений удельная мощность опускается с теплого времени года: в июле и августе. Например, на станции Инза значение потенциальной средней удельной мощности ветрового потока составляет 63 Вт/м<sup>2</sup> на высоте флюгера.