

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПРОВЕДЕНИЕ ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СХЕМ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

РД 52.04.275-89

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. УТВЕРЖДЕН Государственным комитетом СССР по Гидрометеорологии
2. РАЗРАБОТЧИКИ: М.М. Борисенко (руководитель темы); А.Д. Дробышев; В.П. Харитонов (ответственные исполнители); С.Г. Чанышева; И.К. Кравченко; Г.П. Якушкова; Н.Н. Мазурова
3. СОГЛАСУЮЩИЕ ОРГАНИЗАЦИИ Главное управление "Союзводстройиндустрия" Минводхозстроя СССР, НПО "Ветроэн"
4. ЗАРЕГИСТРИРОВАН ЦКБ ГМП за № РД 52.04.275-89 от 16.08.90
5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящие методические указания устанавливают способы и приемы проведения изыскательских работ по оценке климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов для наиболее рационального размещения и проектирования ветроэнергетических установок на всей территории СССР.

Методические указания предназначены для организаций, занимающихся разработкой и размещением ветроэнергетических установок, специалистов в области исследования ветроэнергетических ресурсов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Целью настоящих Методических указаний является доведение до практического применения методов определения климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов в местах предполагаемого размещения автономных ветроэнергетических установок (ВЭУ). Для предварительной ориентировочной оценки ветроэнергетического потенциала необходимости в проведении специальных экспедиционных наблюдений в намеченном для размещения ВЭУ пункте нет.

1.2. Указанные сведения можно получить по данным метеостанций-аналогов, либо с помощью фоновых карт районирования территории по удельной мощности ветрового потока /1/. Более точно ветроэнергетический потенциал в намеченном участке можно оценить по картам мезоклиматического районирования, примеры этого приведены в /1/. Для определения же всего комплекса характеристик ветрового режима выбранного участка местности экспедиционные наблюдения необходимы. Это обусловлено тем, что до сих пор исследованы закономерности мезоклиматической изменчивости далеко не всех параметров ветра, используемых в ветроэнергетике.

1.3. Проведение кратковременных экспедиционных наблюдений за ветром вполне оправдано, если характер подстилающей поверхности в районе опорной метеорологической станции (ОМС) качественно отличается от условий предполагаемого размещения ВЭУ.

В таком случае параллельные наблюдения в обоих пунктах позволяют надежно (на основе разработанных в климатологии методов приведения к длинному ряду) получить весь комплекс необходимых для ветроэнергетики расчетных и режимных характеристик ветра.

1.4. О перспективности участка территории для размещения автономной ВЭУ нельзя судить лишь по одной какой-либо "приоритетной" характеристике ветрового режима. В качестве таковой часто используют либо средние значения скорости ветра, либо значения удельной мощности ветрового потока, которые приблизительно характеризуют уровень

ветроэнергopotенциала /1, 2/.

Достаточно полно перспективность участка местности можно оценить по комплексу благоприятствующих признаков, таких, как

- 1) малая длительность "энергетических" затиший;
- 2) возможно более продолжительный диапазон "энергоактивных" (далее - рабочих) скоростей;
- 3) отсутствие ураганов;
- 4) малая изменчивость скорости ветра во времени.

Все эти данные можно получить, если известны параметры распределения скорости ветра по градациям.

1.5. Важнейшая задача подбора мест для ВЭУ - выявление участков территории с максимально возможной продолжительностью энергоактивных скоростей. В частности, для агрегата типа АВЭУ-6 это диапазоны скоростей, превышающих 5 м/с. Наиболее практически важной является часть рабочего диапазона, когда достигается номинальная (установленная) мощность ВЭУ. Для АВЭУ-6 это диапазон скоростей от 9 м/с и выше.

2. ПОРЯДОК И СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СКОРОСТЬЮ ВЕТРА НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ ГОСКОМГИДРОМЕТА СССР

2.1. Состав климатической информации для обоснования схем размещения и проектирования ВЭУ

2.1.1. Указанная информация подразделяется на три части. К первой относятся общие климатические характеристики для оценки теоретического ветроэнергетического потенциала:

- 1) средняя скорость ветра (за год и по месяцам);
- 2) амплитуда суточного хода скорости ветра по сезонам года;
- 3) распределение (повторяемость) скорости ветра по градациям;
- 4) вертикальный профиль средней скорости ветра;
- 5) плотность воздуха;
- 6) интенсивность турбулентности ветрового потока (последняя определяется как отношение стандарта пульсации скорости ветра к средней скорости σ_v/\bar{v}).

Помимо характеристик самой скорости к первой части относятся и поправочные коэффициенты, учитывающие изменение ветра по территории вследствие неоднородности подстилающей поверхности.

На основе всех этих характеристик можно определить удельную мощность ветрового потока - показателя теоретического потенциала энергии ветра, т.е. потенциала, рассчитываемого с учетом всего диапазона фактически наблюдаемых скоростей ветра.

Учет перечисленных характеристик для оценки теоретического потенциала энергии ветра производится на начальном этапе использования климатической информации в ветроэнергетике.

2.1.2. Ко второй части относятся специализированные климатические характеристики, с помощью которых можно выбрать оптимальные режимы работы ВЭУ, т.е. характеристики для оценки реальных ветроэнергетических ресурсов. К ним относятся:

1) суммарная (далее - интегральная) повторяемость диапазона рабочих скоростей, т.е. когда ВЭУ вырабатывает электроэнергию;

диапазона скоростей, когда ВЭУ работает в режиме номинальной мощности (далее - диапазон номинального режима);

энергетических затиший, т.е. скорости ветра ниже определенного уровня (u_0), когда электроэнергия ВЭУ не вырабатывается;

диапазона "буревых" (опасных) скоростей, когда ВЭУ отключается во избежание поломки лопастей (выработка электроэнергии также равна нулю);

2) непрерывная продолжительность соответственно диапазона рабочих скоростей, диапазона номинального режима, энергетических затиший.

2.1.3. К третьей части климатической информации относятся характеристики для расчета конструкций ВЭУ на прочность и устойчивость (воздействия ветра). Они включают в себя:

- 1) расчетное ветровое давление (ветровой напор) и его изменение по высоте сооружения;
- 2) интенсивность турбулентности и коэффициент порывистости ветра $k = u_{\text{max}}/\bar{u}$;
- 3) ускорение ветра в порыве;
- 4) расчетные экстремальные значения гололедно-изморозевых отложений на поверхности опор и лопастей ВЭУ.

2.1.4. Состав используемой климатической информации представлен в виде матрицы

(табл.1).

Таблица 1

Перечень климатических параметров для ветроэнергетики

Характеристика	Оценка потенциала энергии ветра	Выбор оптимального режима ВЭУ	Расчет на прочность и надежность конструкций ВЭУ
Средняя месячная и годовая скорость ветра	+	-	-
Амплитуда суточного хода средней скорости ветра	+	-	-
Преобладающее направление ветра	-	+	-
Распределение скорости ветра по градациям	+	+	-
Вертикальный профиль средней скорости ветра	+	-	-
Вертикальный профиль максимальной скорости ветра	-	-	+
Плотность воздуха	+	-	+
Вертикальный профиль сильных порывов ветра ($u_n > 15$ м/с)	-	-	+
Поправка к скорости ветра на экспозицию местности	+	-	-
Интегральная повторяемость энергозатиший ($u \geq u_0$)	-	+	-
диапазона рабочих скоростей ($u_0 \leq u \leq u_{\max}$)	-	+	-
диапазона номинального режима ($u_{\text{ном}} \leq u \leq u_{\max}$)	-	+	-
Непрерывная продолжительность энергозатиший $\tau_u < u_0$	-	+	-
диапазона рабочих скоростей $\tau_u > u_0$	-	+	-
диапазона номинального режима $\tau_{\text{ном}} < u$	-	+	-
Повторяемость диапазона опасных скоростей ветра $f_u > u_{\max}$	-	+	+
Ускорение ветра в порыве Δu_{\max}	-	-	+
Интенсивность турбулентности ($I = \sigma_u / \bar{u}$)	+	-	+
Экстремальные отложения гололеда $D_{\max}; P_{\max}$	-	-	+

Примечания: 1. Здесь $u_{\text{ном}}$ - скорость ветра, выше которой ВЭУ работает в номинальном режиме; u_{\max} - скорость ветра, при которой ВЭУ отключается.

2. Знак "+" означает необходимость использования информации, знак "-" отсутствие необходимости.

2.2. Источники исходных данных

2.2.1. Основу исходной информации для определения климатических характеристик ветроэнергоресурсов составляют материалы регулярных наблюдений на сети метеорологических станций Госкомгидромета СССР. Как правило, указанные наблюдения производились на протяжении нескольких десятилетий.

2.2.2. При использовании данных рядов наблюдений на таких станциях следует иметь в виду, что они могут быть статистически неоднородными по нескольким позициям: 1) главным образом неоднородность может быть вызвана тем, что в разные периоды наблюдения производились с неодинаковой частотой; 2) сроки наблюдений в разные сезоны не совпадали. На большинстве климатических станций до 1936 г. ветер измерялся флюгером с легкой доской три раза в сутки: в 8, 14 и 20 ч местного среднего солнечного времени. В период с 1936 по 1965 г. наблюдения осуществлялись с помощью флюгера как с легкой, так и с тяжелой доской (на большинстве метеостанций) четыре раза в сутки: в 7, 13, 19 и 1 ч местного среднего солнечного времени. С 1966 г. ветер наблюдается восемь раз в сутки: в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч московского (зимнего) времени /3/.

До 1966 г. на метеостанциях Госкомгидромета СССР наблюдения производились исключительно по флюгеру Вильда, т.е. были визуальными, причем интервал осреднения скорости ветра по времени принимался равным 2 мин. С 1966 г. на многих метеостанциях

начаты измерения скорости ветра с помощью дистанционных анеморумбометров М-63, М-63-М и иных конструкций. Осреднение скорости ветра при этом установлено равным 10 мин. В силу упомянутых причин - различное число сроков (частота) наблюдений и неодинаковые интервалы осреднения в разные периоды - и возникла неоднородность в рядах наблюдений.

Для устранения указанных неоднородностей используются следующие приемы.

2.2.3. Неоднородность, вызванную разным числом сроков наблюдений, рекомендуется устранять путем использования данных только с 1936 г., т.е. когда ветер наблюдался четыре раза в сутки (с 1966 г. - восемь раз в сутки). Значения основных статистик распределения скорости ветра не зависят от того, наблюдается ли он четыре или восемь раз в сутки. По этой причине ряды четырех- и восьмисрочных наблюдений правомерно объединять с учетом веса (продолжительности) периода наблюдений. (Для большинства районов СССР характер суточного хода скорости ветра достаточно хорошо выявляется уже по данным четырехсрочных наблюдений.)

Пример расчета удельной мощности ветрового потока N_e по данным наблюдений за разные периоды.

Допустим, что на метеостанции N за 30-летний период четырехсрочных наблюдений (1936-1965 гг.) удельная мощность ветрового потока N_e равна 350 Вт/м^2 ; за 20-летний ряд восьмисрочных наблюдений (1966-1985 гг.) величина N_e равна 300 Вт/м^2 . Среднее значение удельной мощности N_e за 50-летний период с учетом "веса" обеих его частей составит:

$$(N_{e1} n_1 + N_{e2} n_2) / (n_1 + n_2) = ((350 \cdot 30) + (300 \cdot 20)) / (30 + 20) = 330 \text{ Вт/м}^2.$$

Здесь n_1 и n_2 - число лет соответственно в первой и второй части периода наблюдений на станции N.

2.2.4. Неоднородность в рядах скорости ветра, вызванная сменой ветроизмерительных приборов и переходом в 60-х годах от 2- к 10-минутному осреднению, устраняется путем введения поправок. Согласно требованиям ВМО и МАГАТЭ, 10-минутный интервал осреднения скорости ветра является основным для характеристики устойчивого ветрового потока во времени. Наиболее точно скорость ветра определяется флюгером в диапазоне 4-17 м/с. При меньших скоростях значения повторяемости ветра по грациям оказываются заниженными, при больших - завышенными. Для приведения скорости, измеренной флюгером, к данным, измеренным прибором М-63 (с осреднением 10 мин), рекомендуется вводить поправки:

Скорость по флюгеру, м/с	14	17	20	24	28	34
Поправка	-2	-3	-4	-4	-5	-7

Поправки вводятся, если скорость ветра по флюгеру превышает 12 м/с.

2.2.5. Информация о распределении скорости ветра по грациям за многолетний период в обобщенном виде содержится в "Справочнике по климату СССР", ч.3 (Л.: Гидрометеоздат, 1966-1969 гг.). В нем приведены данные более чем по 1000 станций СССР. Здесь же даны значения средних годовых скоростей ветра более чем по 2000 станций. Многие регионы, особенно Азиатская часть Союза, в Справочнике недостаточно освещены данными о повторяемости различных граций скорости ветра. В этом случае используют данные "Метеорологических ежемесячников". Последние представляют собой регулярное, выпускаемое с 1966 г., издание Госкомгидромета СССР, состоящее из ежемесячных сборников метеорологических данных по каждому из условных 36 районов СССР. Ценность Ежемесячников для ветроэнергетиков заключается в наличии сведений о характеристиках ветра для вновь открытых метеостанций.

Одним из полезных для ветроэнергетиков источников данных о ветровом режиме являются материалы судовых наблюдений на прибрежных участках акваторий морей и водоемов, имеющиеся в фондах территориальных управлений по гидрометеорологии. Указанные данные приурочены, как правило, к судоходным трассам на акваториях, где размещение автономных ВЭУ представляется перспективным.

2.3. Определение удельной мощности ветрового потока по данным сетевых метеостанций

2.3.1. Критерии отбора опорных метеостанций.

2.3.1.1. Опорные метеостанции, данные которых используются для оценки фона режимных особенностей ветра, должны удовлетворять следующим требованиям. Во-первых, класс открытости станции (по В.Ю. Милевскому) должен быть не менее 6б. К ним относятся станции открытого местоположения, находящиеся либо на равнинной местности, либо на наветренных или параллельных господствующему направлению ветра склонах пологих возвышенностей.

Сюда также могут быть отнесены станции, расположенные в продуваемых долинах, лощинах, котловинах или на затененных местными предметами участках территории, в том числе городские станции.

2.3.1.2. Во-вторых, период регулярных наблюдений за ветром на опорной станции должен быть не менее 20-25 лет. Это обеспечивает получение надежных статистических оценок параметров скорости ветра.

2.3.2. Исходные требования к месту развертывания автономных ВЭУ и ВЭС*.

* ВЭС - ветроэлектрические станции.

2.3.2.1. К таким требованиям относится наличие высокого ветроэнергетического потенциала. В грубом приближении его можно характеризовать уровнем средней годовой скорости ветра $\bar{u}_2 \geq 5$ м/с на высоте 10 м надстилающей поверхностью. Приближенное представление о ветроэнергетическом потенциале местности можно получить из карт удельной мощности ветрового потока на территории ЕЧС и Казахстана /1/.

2.3.2.2. Для более точной оценки эффективности работы ВЭУ требуется знание продолжительности во времени диапазона рабочих скоростей. Для большинства типов ВЭУ малой и средней мощности это диапазон скорости от 9 до 25 м/с.

Достаточно эффективно ВЭУ может работать, если относительная продолжительность диапазона рабочих скоростей ветра (т.е. коэффициент использования) составляет не менее 0,4 в течение сезона.

Кроме того, место для размещения ВЭУ должно характеризоваться небольшой повторяемостью энергетических затиший, т.е. для большинства ВЭУ это период времени, когда $u \leq 5$ м/с составляет не более 20-30%.

2.3.2.3. Дополнительное требование - отсутствие или незначительная повторяемость ураганных ветров ($u > 33$ м/с) и малое число буревых периодов ($u > 20$ м/с).

2.3.2.4. Благоприятным условием являются небольшие значения коэффициента вариации (c) скорости ветра, т.е. ее изменчивости во времени. За критерий благоприятствования можно принять $c_u \leq 0,5$. Если же $c_u < 0,3$, то условия для размещения ВЭУ весьма благоприятны.

2.3.2.5. Следует иметь в виду, что не всегда большие значения средней годовой скорости являются гарантией высокой выработки электроэнергии ВЭУ.

Пример. Сравним климатические характеристики ветроэнергоресурсов в двух пунктах, имеющих одинаковую среднюю годовую скорость ветра (норму), но находящихся в различной местности.

Один из пунктов находится в обширной межгорной впадине, в так называемых Джунгарских Воротах (ст. Жаланашколь), второй - на мелководной акватории Финского залива, в районе м. Шепелевский, к юго-западу от о-ва Котлин (далее сектор Г).

Распределение климатических характеристик ветра по градациям приведено в табл.2, 3.

Таблица 2

**Климатические характеристики ветра на ГМС Жаланашколь (1966-1983 гг.)
Высота над уровнем моря 385 м**

Характеристика	Градации скорости ветра, м/с														Σ	
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	21-24	25-28	29-34	34-40		40
n	10802	6955	5652	4407	3225	2602	1783	1500	2554	3844	1234	657	872	354	302	46743
$f(u)$	23,1	14,9	12,1	9,4	6,9	5,6	3,8	3,2	5,5	8,2	2,6	1,4	1,9	0,8	0,6	100,0
$N_{e(град)}$ Вт/м ²	0	2	9	20	31	45	51	66	164	346	197	169	376	256	317	2049
$N'_{e(град)}$ Вт/м ²	0	0	0	20	31	34	23	20	33	50	16	9	11	5	4	256

Примечания: 1. Здесь и в табл.3 приняты следующие обозначения: n - число случаев в данной градации скорости ветра; $f(u)$ - относительная (далее - дифференциальная) повторяемость скорости в данной градации; $N_{e(град)}$ - удельная мощность теоретическая; $N'_{e(град)}$ - удельная мощность реальная, соответствующая условиям работы ветроагрегатов типа АВЭУ-6, когда мощность равна нулю при $u \leq 5$ м/с; она пропорциональна кубу скорости ветра при $5 \leq u \leq 9$ м/с; номинальная мощность устанавливается

при скорости ветра $u = 10$ м/с. 2. Удельная мощность ветрового потока для конкретных градаций скорости определяется по формуле $N_{e(град)} = \frac{0,613u^3 f(u)}{100}$.

Таблица 3

Климатические характеристики ветра в секторе Г Финского залива (1950-1973 гг.)

Характеристика	Градация скорости ветра, м/с										Σ
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	
n	32	183	326	485	524	401	198	73	24	9	2255
$f(u)$	1,4	8,1	14,5	21,5	23,2	17,8	8,8	3,2	1,1	0,4	100,0
$N_{e(град)}$ Вт/м ²	0	1	11	45	104	145	119	66	33	17	541
$N'_{e(град)}$ Вт/м ²	0	0	0	45	104	109	54	20	7	2	341

В табл.2, 3 под понятием "удельная мощность теоретическая" подразумевается мощность N_e , рассчитанная при условии, что вся ветровая энергия полностью утилизируется ВЭУ, без потерь; "удельная мощность реальная" - это мощность, которая соответствует полной утилизации энергии в диапазоне скоростей 5-9 м/с, а при более высокой скорости мощность ВЭУ устанавливается номинальной, т.е. как при скорости ветра 10 м/с.

2.3.2.6. Сравнение данных табл.2 и 3 показывает, что, несмотря на почти одинаковые значения норм скорости ветра \bar{u}_e (8,2 м/с на ст. Жаланашколь и 8,4 м/с в секторе Г), характеристики ветроэнергopotенциала в них различны. Так, теоретический ветроэнергopotенциал Джунгарских Ворот почти в четыре раза превышает потенциал Финского залива (в секторе Г). Тем не менее реальные ветроэнергоресурсы ($N'_{e(град)}$) залива больше, чем Джунгарских Ворот, на 30%. Обусловлено это более благоприятными условиями ветрового режима Финского залива. Во-первых, общая длительность энергозатиший здесь составляет лишь около 1400 ч в году, в то время как в Джунгарских Воротах она близка к 3800 ч, т.е. почти в три раза больше (что следует из анализа графиков распределения скоростей, черт.1).

Во-вторых, в секторе Г отсутствуют сильные штормы, не говоря об ураганах, в то время как в Джунгарских Воротах общая длительность ураганных ветров ($u > 32$ м/с) за год превышает 200 ч, а штормовых ветров ($u > 20$ м/с) равна примерно 900 ч.

В-третьих, продолжительность энергоактивного диапазона ($u \geq 5$ м/с) в Джунгарских Воротах составляет около 55% времени года, а на Финском заливе - 85%. Период, когда ВЭУ может работать в режиме номинальной мощности, составляет для Джунгарских Ворот 26% всего времени года, а на Финском заливе - около 42%.

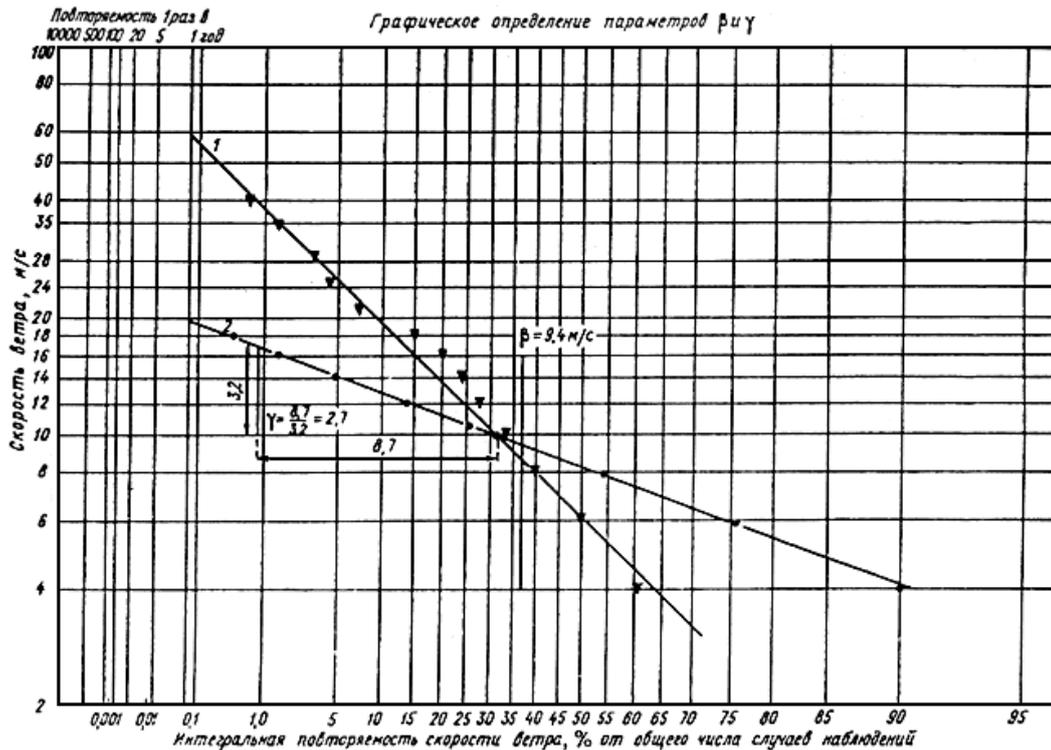
Следовательно, зона прибрежного мелководья морских акваторий явно предпочтительнее для размещения ВЭУ, чем продуваемые межгорные долины.

2.4. Аналитический метод расчета удельной мощности ветрового потока

2.4.1. Удельная мощность ветрового потока N_e , помимо приведенного примера подсчета по градациям в табл.2, 3, может быть определена аналитическим методом. Для этого требуются данные о параметрах распределения β и γ в уравнении Вейбулла-Гудрича:

$$F(u) = e^{-(u/\beta)^\gamma}, \quad (1)$$

где $F(u)$ - интегральная функция распределения скоростей; параметр β равен значению скорости ветра с обеспеченностью 36,8%; параметр γ равен тангенсу угла наклона "выровненного" графика распределения скоростей, см. черт.1.



1 - ст. Жаланашколь; 2 - сектор Г; β и γ - параметры распределения Вейбулла.
Черт.1

2.4.2. Подготовка данных для реализации метода определения N_e производится в следующем порядке:

- 1) из табл.2, 3 по значениям дифференциальной повторяемости скорости ветра $f(u)$ рассчитывают интегральную повторяемость $F(u)$;
- 2) значения $F(u)$ наносятся на сетку, подобную черт.1;
- 3) методом наименьших квадратов строят график выровненного распределения скорости;
- 4) по выровненному графику $F(u)$ снимают значения параметров β и γ ;
- 5) с помощью формулы (2) вычисляют удельную мощность ветрового потока:

$$N_e = \frac{1}{2} \rho \beta^3 \Gamma \left(\frac{3}{\gamma} + 1 \right), \quad (2)$$

где ρ - плотность воздуха; Γ - гамма-функция.

Таблицы $F(x)$ для диапазона $1 \leq x \leq 2$ приведены в /1/. В практике расчетов используется свойство гамма-функции $\Gamma(x+1) = x\Gamma(x)$.

Пример расчета N_e для сектора Г Финского залива.

Согласно черт.1, $\beta = 9,4$ м/с; $\gamma = 2,7$. Плотность воздуха ρ в формуле (2) всегда принимается равной $1,226$ кг/м³. Тогда удельная мощность ветрового потока N_e равна

$$N_e = 0,613 \cdot 831 \cdot \Gamma(1,11 + 1,00) = 509 \cdot 1,11 \cdot \Gamma(1,11) = 535 \text{ Вт/м}^2.$$

3. МЕТОД ПРИВЕДЕНИЯ ДАННЫХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ К ДАННЫМ ОПОРНОЙ СТАНЦИИ

3.1. Для увязки характеристик ветра, полученных по данным кратковременных экспедиционных измерений, с данными опорной станции (имеющей длинный ряд) необходимо располагать данными параллельных наблюдений на временной метеорологической станции (ВМС) и опорной метеорологической станции (ОМС) продолжительностью не менее 1-2 лет. Наличие такого ряда позволит получить весь комплекс климатических характеристик ветроэнергоресурсов на месте предполагаемого размещения ВЭУ с необходимой точностью. Приведение режимных характеристик ветра к длинному периоду осуществляется широко применяемым в климатологии методом отношений /4/.

3.2. Указанный метод реализуется в несколько этапов:

1. Определяют два значения для климатических характеристик ветра на ОМС. Первое - по

длинному ряду наблюдений X_δ , второе - по короткому ряду X_κ (за период параллельных наблюдений).

2. Определяют соотношение

$$X_\delta / X_\kappa = Z. \quad (3)$$

3. Значение климатической характеристики, полученное по данным короткого ряда наблюдений на ВМС (Y_κ), умножают на полученное выше отношение Z . В итоге имеют приведенное к длинному ряду значение климатической характеристики по короткорядной станции:

$$Z Y_\kappa = Y_\delta. \quad (4)$$

Пример. В течение года, с апреля 1987 г. по март 1988 г., в районе Должанки на побережье Азовского моря (Краснодарский край) проводились регулярные измерения скорости ветра. Временная метеорологическая станция расположена на узкой, далеко вдающейся в Азовское море береговой косе. Открытость пункта по классификации В.Ю. Милевского в различных направлениях неодинакова. Повторяемость класса открытости бб составляет 40%; 5б - 27%, 7б - 19%, 10б - 14%.

В качестве ОМС выбрана ст. Темрюк, имеющая длинный ряд наблюдений (20 лет), также расположенная на побережье Азовского моря, в северной части Таманского п-ва.

Расчеты климатических характеристик ветроэнергоресурсов производим в следующем порядке:

- 1) определяем значения \bar{u}_z и $f(u)$ по короткому ряду наблюдений на ст. Должанка;
- 2) те же характеристики рассчитываем по длинному и короткому ряду наблюдений на ст. Темрюк;
- 3) составляем таблицу значений $f(u)$ и \bar{u}_z согласно табл. 4;

Таблица 4

Повторяемость (%) различных градаций скорости ветра по различным рядам наблюдений

Станция	Скорость ветра, м/с										\bar{u}_z , м/с
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	
Должанка (к)	9,4	29,8	19,6	13,0	5,5	9,9	7,7	2,8	1,8	0,5	5,5
Темрюк (к)	8,6	26,9	31,1	20,0	8,4	3,8	0,7	0,4	0,1	0,0	4,7
Темрюк (д)	10,8	22,0	24,4	17,1	11,0	8,5	3,6	1,6	0,7	0,3	5,4

4) по значениям дифференциальной повторяемости скорости ветра $f(u)$ вычисляем интегральную повторяемость $F(u > x)$;

5) наносим на сетку в координатах $\lg(u)$ и $\lg[-\lg F(u)]$ значения интегральной повторяемости, вычисленные по короткому и длинному ряду наблюдений на ст. Темрюк (черт.2). Значения параметров β и γ для длинного ряда соответствуют: 6,7 м/с и 1,79; для короткого: 5,8 м/с и 1,96. Средние годовые скорости \bar{u}_z для этих рядов равны 5,4 и 4,7 м/с;

6) аналогичным образом с использованием сетки определяем те же три характеристики по короткому ряду наблюдений на ВМС Должанка: $\beta = 7,3$ м/с; $\gamma = 1,72$; $\bar{u}_z = 5,5$ м/с.

7) далее рассчитываем соотношение $Z = X_\delta / X_\kappa$ для β , γ и \bar{u}_z :

$$\text{для } \beta \quad Z = \frac{6,7}{5,8} \approx 1,16;$$

$$\text{для } \gamma \quad Z = \frac{1,79}{1,96} \approx 0,91;$$

$$\text{для } \bar{u}_z \quad Z = \frac{5,4}{4,7} \approx 1,15;$$

8) по формуле (4) приводим к длинному ряду климатические характеристики для ВМС Должанка:

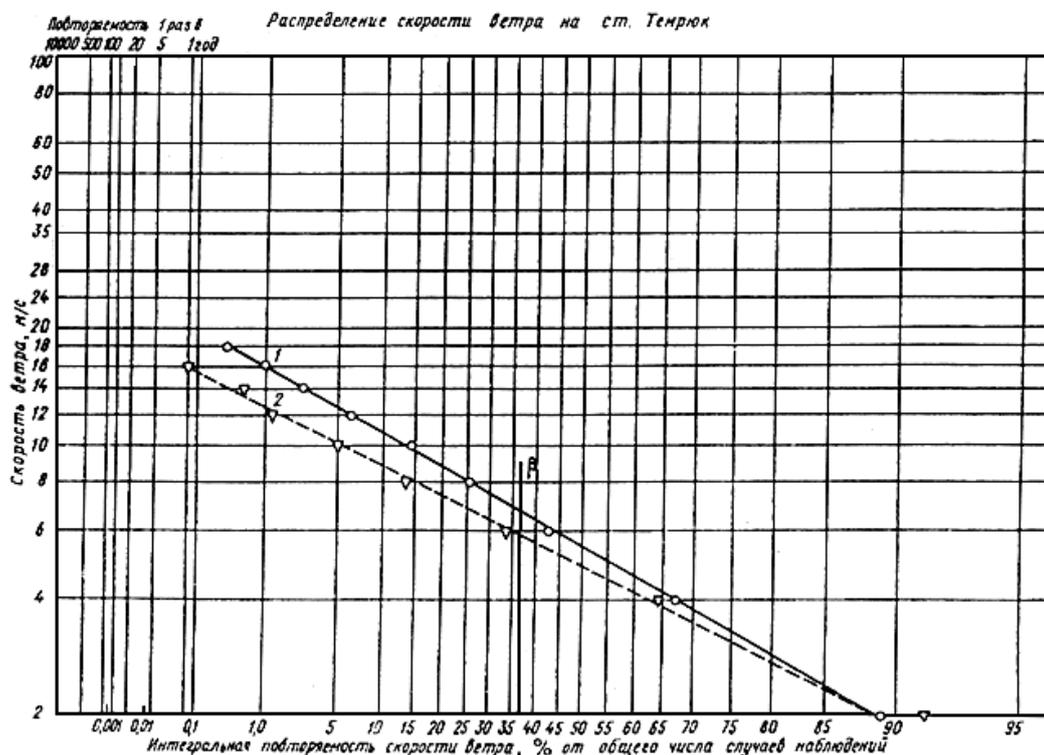
$$\beta = 1,16 \cdot 7,3 = 8,5 \text{ м/с};$$

$$\gamma = 0,91 \cdot 1,72 = 1,57;$$

$$\bar{u}_z = 1,15 \cdot 5,5 = 6,3 \text{ м/с};$$

9) по приведенным к длинному ряду значениям β и γ по формуле (2) вычисляем для ВМС

Должанка удельную мощность ветрового потока N_e . Она равна 694 Вт/м^2 . По данным короткого ряда $N_e = 380 \text{ Вт/м}^2$.



1 - короткий ряд наблюдений; 2 - длинный ряд.

Черт. 2

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О МЕСТНЫХ ВЕТРАХ ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ АВТОНОМНЫХ ВЭУ

4.1. Климатические характеристики местных ветров

4.1.1. Местные ветры представляют собой воздушные течения небольшой протяженности (от нескольких сотен метров до десятков километров), которые возникают в поле общей циркуляции атмосферы под влиянием особенностей орографии и ландшафта. На территории СССР значительно распространены непериодические местные ветры, вызванные механическим действием горных систем. Они возникают вследствие возмущения поля ветра при перетекании воздуха через препятствие, стекания или сужения воздушных потоков. Общим для таких ветров является наличие нисходящих движений.

4.1.2. Выделяют два основных морфологических типа местных ветров: 1) реверсивные ветры, т.е. меняющие направление в течение суток (бризы, горно-долинная циркуляция); 2) ветры направленной циркуляции (фены, струйные ветры). Если ветры первого типа характерны в основном для теплого полугодия и им присущи малые скорости, то ветры второго типа в отдельных районах могут быть выражены значительно отчетливее в холодное полугодие и характеризуются большими скоростями /5/.

Реверсивные ветры возникают в любом месте, где подстилающая поверхность неоднородна (лесные полосы, большие города, водоемы, возвышенности). Карта-схема распределения таких ветров на территории СССР соответствует черт.3.

4.1.3. Бриз - ветер, возникающий на побережье водоемов. Ночью ветер дует с суши на море (береговой бриз), днем - с моря на сушу (морской, озерный, речной бриз). Морской бриз проникает в глубь прибрежной зоны на 50-100 км, бризы крупных озер - на 10-30 км, бризы рек и малых водохранилищ - в пределах 10 км.

4.1.4. Горно-долинные ветры наблюдаются практически в любой горной долине. Лишь в самых верхних (пригребневых) зонах дуют ледниковые ветры, или ветры общего переноса.

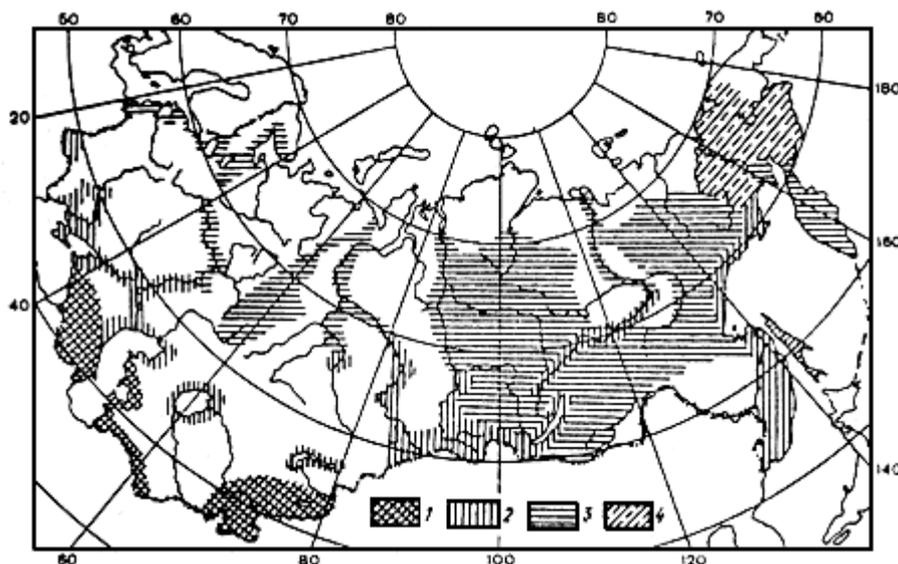
Днем долинный ветер дует от предгорий в долины, из устьев долин - к верховьям. Ночью горный ветер дует от верховий долин к их устьям и предгорьям. В предгорной зоне горно-долинная циркуляция прослеживается в зоне 10-30 км. В Средней Азии эта территория

обширнее, чем в других горных районах.

Горно-долинные ветры чаще возникают и являются более интенсивными в основной долине, чем в боковых, и в центре долины, чем на склонах. В узких долинах горно-долинные ветры выражены более четко.

В суточном ходе обычно более сильными ветрами являются ветры направлений, совпадающих с направлением общего переноса.

Распределение средней повторяемости (%) местных периодических ветров по территории СССР. Июль.



1) 70-100%; 2) 50-70%; 3) 20-50%; 4 - нет данных; незаштрихованные области - повторяемость менее 20%.

Черт. 3

4.1.5. В тех случаях, когда воздушный поток (обусловленный общей циркуляцией атмосферы), встречая на своем пути горный хребет, не может обогнуть его, происходит перетекание воздуха по другую сторону хребта в наиболее низких местах. Широко известными ветрами такого происхождения являются фены. Они обычно сопровождаются значительным повышением температуры воздуха и понижением относительной влажности. Продолжительность фенов может быть весьма различной: от нескольких часов до нескольких дней.

Основными местоположениями для развития фена являются:

- 1) долины, открытые в сторону равнин, по которым часто проходят циклоны;
- 2) горные хребты, ориентированные перпендикулярно к господствующим воздушным потокам, прорезанные поперечными долинами.

В среднем скорость ветра при фене (4-9 м/с) больше, чем при горно-долинных ветрах. В местах сужений фены могут приобретать характер штормовых ветров и рассматриваются как струйные ветры. Активен феновый процесс в боковых долинах. Ночное время суток более благоприятно для усиления фенов, чем дневное.

Продолжительность феновых ветров достигает в году в общей сложности 2-3 мес.

Феновые проявления носят зональный характер и зависят от общего направления горной системы, ориентации долин, формы и высоты хребтов. Наиболее часто фены наблюдаются в горных районах Кавказа, Средней Азии, на Алтае и в Саянах.

Наибольшее число дней с фенами в СССР отмечается на Кавказе, в долине р. Риони (114 дней в Кутаиси). Скорость ветра при фене здесь может достигать 36 м/с, в то время как средняя годовая скорость ветра в Кутаиси составляет 5 м/с, а повторяемость скорости ветра 0-5 м/с - более 70%.

Некоторые районы Алтая по повторяемости фенов не уступают Кавказу; за год здесь может наблюдаться от 80 до 110 дней с фенами, однако скорость ветра при фене не всегда достигает 15 м/с. В данном районе средняя годовая скорость ветра невелика - около 3 м/с, а повторяемость скорости ветра 0-5 м/с - около 80%.

В горных системах Средней Азии возникают и развиваются все виды местных ветров, в том числе и фены. Особенно хорошо они выражены в открытых к равнинам долинах Памира и Тянь-Шаня, а также на северных склонах Копетдага. Обычно фен в горах Средней Азии характеризуется небольшими скоростями (3-5 м/с). Только фены в районе Ашхабада отличаются большими скоростями (до 28 м/с), однако число дней в году с $u > 15$ м/с не превышает 20; повторяемость скорости ветра 0-5 м/с здесь более 80%.

4.1.7. В отдельных районах часто наблюдаются сильные местные ветры, обусловленные прохождением циклонических образований вблизи гор в сочетании с орографией, когда наличие узких горных проходов между возвышенностями вызывает усиление феновых ветров до шторма.

Одним из таких ветров является урсатьевский ветер, возникающий в результате усиления общециркулярного воздушного потока в горном ущелье, хотя с термической стороны урсатьевский ветер проявляет себя как фен. Метеорологические характеристики этого ветра получены по ГМС Урсатьевская, которая расположена у выхода из Ферганской долины в Ленинабадском проходе. Наблюдается урсатьевский ветер до 70 раз в году, чаще всего в холодный период; в это время он бывает наиболее сильным. Скорость урсатьевского ветра может достигать 40 м/с. Средняя годовая скорость ветра на ГМС Урсатьевская - около 4 м/с, а повторяемость скорости 0-5 м/с - более 70%.

4.1.8. С урсатьевским ветром много общего имеет евгей. Это ветер Джунгарских ворот - горного прохода между Джунгарским Алатау и горным поднятием Барлык. По данным расположенных в указанном районе метеостанций Дружба и Жаланашколь скорость ветра при евгее достигает 70 м/с, число дней с $u > 15$ м/с составляет около 100 в году. Евгей может продолжаться от суток до недели и прекращается внезапно. Повторяемость скорости ветра 0-5 м/с в данном районе - около 50%.

4.1.9. Разновидностью евгея является кулусутайский эбэ, возникающий в долине р. Эмель, впадающей в оз. Алаколь. Этот местный ветер характеризуется меньшими скоростями, чем ветер Джунгарских Ворот (евгей). На метеостанции Бахты отмечается в среднем 40 дней в году с $u > 15$ м/с, а максимальная наблюденная скорость составляет 34 м/с. Повторяемость скорости ветра 0-5 м/с - около 80%.

4.1.10. Чиликский ветер - сильный местный ветер в сужении долины р. Или, особенно в нижнем течении р. Чилик. Чиликский ветер наблюдается до 80 дней в году, преимущественно зимой. Скорость ветра один раз в 5 лет может превышать 24 м/с (ГМС Чилик), а повторяемость скорости ветра 0-5 м/с - примерно 80%.

В верхнем течении р. Или также наблюдается сильный местный ветер. По данным ГМС Панфилов один раз в 5 лет скорость ветра может превышать 25 м/с.

4.1.11. Каракумский ветер - сильный восточный ветер в межгорных проходах между Копетдагом и Малым Балханом, Малым и Большим Балханами, Кюрендагом и Карагезом. Чаще всего наблюдается зимой, скорость ветра достигает 15-20 м/с, число дней с $u > 15$ м/с составляет 123 в году (Кизыл-Арват).

Местные ветры возникают также на перевалах, где они достигают большой силы. К ним относится тюлькубасский ветер в районе Чокпарского перевала между Джамбулом и Чимкентом. Наиболее устойчивые сильные ветры отмечаются на ГМС Джамбул, где неоднократно регистрировалась $u > 30$ м/с.

4.1.12. Мугоджарский ураган - сильный ветер в Мугоджарских горах на одноименном перевале, восточнее верховьев р. Эмбы. Дует преимущественно с запада или востока, скорость ветра достигает 40 м/с.

4.1.13. Ветры горных проходов - явление весьма распространенное и встречается во всех горных районах, однако до настоящего времени они изучены недостаточно.

Бора и бороподобные ветры наблюдаются широко по территории Советского Союза и в силу различия физико-географических условий отличаются друг от друга местными особенностями. Бора развивается на берегах морей, отделенных от континента невысокими хребтами. Обычно она сопровождается похолоданием.

В качестве наиболее яркого примера часто приводится новороссийская бора. Район Новороссийска по своим условиям считается наиболее благоприятным для развития боры. Здесь она часто достигает скорости 40 м/с, а в отдельных случаях - 60 м/с. Продолжительность новороссийской боры составляет 2-7 дней, она наблюдается около 50 дней в году.

4.1.14. На берегах Байкала также создаются условия для образования местных ветров типа боры. Таков местный ветер сарма, который наблюдается при северо-западном направлении воздушного потока, когда холодный воздух, переваливая через Байкальский или Приморский хребет, проникает в котловину Байкала вдоль долины р. Сармы. Скорость ветра при сарме

достигает 40 м/с.

Подобен сарме юго-западный ветер култук. Он развивается в долине р. Иркут, затем дует вблизи селения Култук, врываясь на озеро из долины между Приморским хребтом и Хамар-Дабаном. Обычно наблюдается осенью.

4.1.15. Харахаиха - местный ветер, дующий из долины р. Голоустной, впадающей в Байкал. Ветер этот имеет такое же происхождение, что и сарма, но несколько слабее.

Часто наблюдаются сильные ветры, дующие вниз по долинам рек в сторону Северного Ледовитого и Тихого океанов. В сторону моря Лаптевых зимой дуют сильные юго-западные ветры по долине р. Лены, особенно сильны они в районе п. Кюсюре. Такова же природа южака, дующего с горных возвышенностей, на Чукотке, в районе Чаунской губы, в бухте Певек. Скорость южака обычно составляет 15-18 м/с, максимальная - до 40 м/с.

Ветры типа боры могут возникать на западном и восточном побережье Камчатки. Сильные ветры на побережье Охотского моря отмечаются также при выходе из долин рек. Наибольшие скорости ветра имеют место в районе ГМС Пестрая Дресва и Ямск.

4.1.16. Бороподобные ветры наблюдаются в Иссик-Кульской котловине при вторжениях холодных воздушных масс из Чуйской долины через Боамское ущелье. Улан - сильный холодный западный ветер, наблюдается 127 дней в году. Наибольшие скорости в Рыбачьем достигают 30-33 м/с.

При прорыве с востока через перевал Сан-Таш холодного воздуха в Иссик-Кульскую котловину возникает бороподобный восточный ветер санташ. Он достигает скорости 40 м/с в районе Пржевальска и наблюдается в среднем 71 день в году.

4.1.17. Новоземельская бора - обвал холодного воздуха с востока со стороны Карского моря или с запада - со стороны Баренцева моря. Длительность боры - от 1 до 5 суток, а скорость может достигать 60-80 м/с.

Подобен боре Бакинский норд. Холодный воздух, обтекая с востока Кавказский хребет, переваливает через Апшеронский п-ов, что вызывает местное усиление ветра. Скорость ветра норда чаще всего невелика, но в отдельных случаях достигает 20-40 м/с.

Бороподобные ветры наблюдаются также в Крыму и на Урале.

4.2. Возможности учета местных ветров в ветроэнергетике

4.2.1. Наиболее благоприятными участками территории, где выражены местные ветры, являются побережья акваторий, обладающие бризовыми эффектами. Данные территории характеризуются большой стабильностью режима бризовых ветров.

Если для интересующей изыскателя территории не проведена климатическая обработка ветра и потому характеристики бриза не выявлены, то вероятность появления бриза (P) может быть оценена по значению суточной амплитуды температуры воздуха $A_{сут}$ в соответствии с черт.4. На поле графика отложены критические значения амплитуды температуры воздуха ($A_{кр}$, °С).

Для морей Каспийского, Черного, Белого, Балтийского критическая амплитуда, при которой возникает бризовая циркуляция, составляет около 6 °С, для озер 8-9 °С, для рек шириной 1 км 13 °С.

В среднем продолжительность бриза в течение месяца зимой составляет 5-8 дней, летом 12-16 дней. Максимум скорости в суточном ходе приходится на 13-15 ч местного времени и равен в среднем 5-6 м/с. Ночной бриз слабее (в среднем скорость его 3-4 м/с). Перерывы (затишья) имеют место в 7-9 и 19-21 ч местного времени. Бризы наиболее интенсивны на скалистых побережьях.

4.2.2. Менее благоприятными для ветроэнергетики являются горно-долинные ветры. В зоне указанных ветров перспективны лишь периоды в суточном ходе, приводящиеся на вторую половину дня (14-18 ч). В период дневного максимума скорость горно-долинного ветра в среднем равна 4-6 м/с.

Горно-долинные ветры более интенсивны в открытых долинах. При прочих равных условиях более сильные ветры наблюдаются там, где отношение ширины долины (B) на уровне гребней к ее длине (L) имеет определенный диапазон значений:

$$B / L \approx 0,05 - 0,1. \quad (5)$$

Горные ветры более интенсивны в крутых долинах.

Критическая суточная амплитуда температуры воздуха, при которой возникает горно-долинная циркуляция, зависит от экранированности рассматриваемого участка:

для Кавказа

$$A_{кр} \approx 0,78 \frac{\Delta x}{\Delta h} - 2,1;$$

для Тянь-Шаня

$$A_{кр} \approx 0,25 \frac{\Delta x}{\Delta h} + 8,5;$$

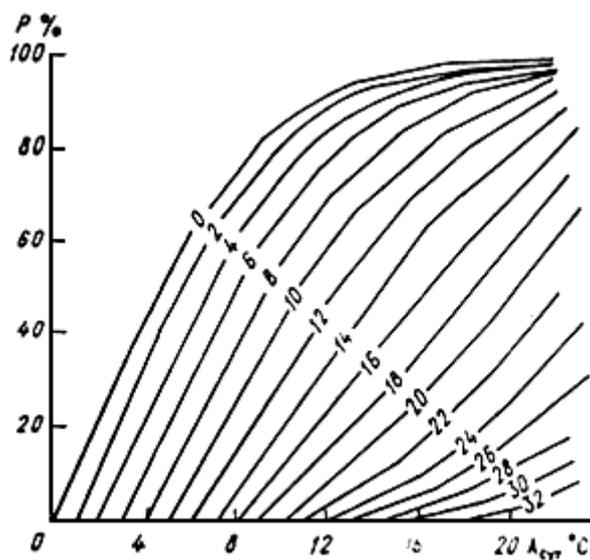
где Δx - расстояние от пункта до гребня;

Δh - превышение экранизирующего гребня над пунктом.

Для ветроэнергетики более благоприятными, чем горно-долинные ветры, являются фены, если они не достигают скоростей штормовых ветров. Поскольку частота таких "умеренных" фенов и определяет ветроэнергетический потенциал горных долин, необходимы в конкретных случаях экспедиционные наблюдения в пунктах, где феновые процессы носят развитый характер.

Ветры горных проходов и струйные ветры неблагоприятны для ветроэнергетики из-за большой повторяемости штормов.

Номограмма для расчета вероятности появления бриза по суточной амплитуде температуры воздуха



Черт. 4

5. СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВЕТРОМ НА МЕСТЕ ПРЕДПОЛАГАЕМОЙ УСТАНОВКИ ВЕТРОАГРЕГАТА

5.1. Программа наблюдений на месте предполагаемой установки ВЭУ определяется рядом факторов, главными из которых являются физико-географические условия территории, тип и мощность ветротехники, специфика потребления энергии ветра и др. Учет этих факторов позволяет условно подразделить наблюдения для целей ветроэнергетики на три категории сложности.

5.2. К первой категории следует отнести наблюдения, осуществляемые по наиболее простой программе. Это кратковременные точечные наблюдения за скоростью и направлением ветра. В качестве приборов используются различного вида анемометры, например, ручные анемометры Фусса /6/. Измерения проводятся не реже четырех раз в сутки на высоте ветроколеса ВЭУ. Для этого анемометр поднимают на необходимую высоту с помощью специальной мачты или обычного шеста. Направление ветра фиксируется по ветровому вымпелу и компасу. Период наблюдений желательно приурочить к наиболее "ветреному" сезону года; длительность их - не менее 2-3 недель. Это позволит определить режимные характеристики ветра для выбранного сезона, но не года в целом, согласно разд.3. Для обеспечения такого цикла круглосуточных наблюдений достаточно двух наблюдателей. Подробнее с методикой измерения и обработки анемометрических данных можно ознакомиться в /6/.

При наблюдениях первой категории сложности удастся зафиксировать особенности ветрового режима только на одном уровне и до высоты 8-10 м от земли.

5.3. Для обоснования размещения мощной ВЭУ, ветроколесо которой находится на высоте

50 м и выше, приходится дополнительно проводить шаропилотные и градиентные наблюдения. Такую программу можно отнести ко второй категории сложности.

Изучение режима ветра с помощью шаропилотов целесообразно проводить там, где с большой вероятностью можно ожидать существенного отклонения профиля ветра от "нормального". Это районы со сложным рельефом (межгорные долины, склоны, котловины и т.д.). Периодичность экспедиционных шаропилотных наблюдений обычно составляет два-три раза в сутки. Для их обеспечения необходимо иметь 30-35 стандартных аэрологических оболочек диаметром 10 см, аэрологический теодолит типа ШТ, АТК, один баллон емкостью 40 л с водородом под давлением 150 атм (масса баллона 62 кг) и часы с секундомером. Непосредственно перед выпуском шара измеряют скорость и направление ветра на высоте 2 м с помощью ручного анемометра и ветрового вымпела или анеморумбометра. Для определения вертикального профиля ветра в нижнем 100-метровом слое в течение одного срока наблюдений достаточно сделать два-три отсчета горизонтальных и вертикальных углов по теодолиту через каждые 20-30 с после выпуска шара-пилота. Программа выполняется двумя-тремя наблюдателями. Особенности проведения и обработки шаропилотных наблюдений описаны в /7/.

5.4. Если исследуемая площадка расположена вдали от естественных и искусственных объектов, значительно искажающих режим ветра, то для восстановления профиля ветра целесообразно организовать не аэрологические, а градиентные наблюдения. Для их проведения на 2-метровой мачте устанавливаются два аспирационных психрометра (на высоте 0,5 и 2 м). В стандартные сроки наблюдений (четыре срока в сутки) с их помощью измеряется температура воздуха по сухому и смоченному термометрам. Одновременно на этих же высотах ручными анемометрами фиксируется скорость ветра. Полученные градиенты температуры и ветра используют для расчета вертикальных профилей метеовеличин /7, 8/. Обеспечение экспедиционных градиентных наблюдений, как и шаропилотных, требует двух-трех наблюдателей и соответствующего оборудования (анемометрическая мачта, два аспирационных психрометра, два ручных анемометра, ветровой вымпел, компас, часы с секундомером).

5.5. Для сравнительной характеристики ветровых условий местности, оценки деформации основного потока и формирования локальных ветров в зависимости от рельефа, наличия водоемов и растительности проводят анемометрическую съемку. При необходимости ее дополняют градиентными или шаропилотными наблюдениями. Указанный комплекс наблюдений относится к третьей категории сложности. Продолжительность экспедиционных работ второй и третьей категории определяется в конкретных условиях отдельно.

Для участка, подлежащего анемометрической съемке, следует иметь план в масштабе 1:2000 или 1:10000, в зависимости от пересеченности местности. На нем фиксируются все пункты анемометрической съемки. Одновременно выбирается контрольный пункт, данные наблюдений которого будут сопоставляться с данными пунктов съемки. Как правило, он приурочивается к метеорологической станции или к ровной открытой площадке, исключаяющей наличие ветров с суточной периодичностью. Время съемки устанавливается в зависимости от сложности задачи и типа местности. Длительность каждой серии наблюдений - около 1,5 ч. За это время удается провести несколько наблюдений при однородных погодных условиях. Измерения производятся ручными анемометрами и ветровым вымпелом на всех пунктах одновременно. Количество приборов определяется числом пунктов и высот. От этого же зависит и количество наблюдателей (по одному на каждый пункт). Аналогичные наблюдения синхронно проводятся на контрольном пункте. Рекомендации по организации и обработке анемометрической съемки даны в /6/.

5.6. Выбор проектировщиком того или иного вида (категорий) ветровых наблюдений зависит главным образом от особенностей эксплуатации ветроэнергетической техники. При этом следует руководствоваться тем, что

- 1) при установке автономных ВЭУ с диаметром ветроколеса до 10-15 м достаточно наблюдений первой категории сложности;
- 2) при установке мощных ВЭУ с диаметром ветроколеса 15-25 м необходимы наблюдения второй категории сложности;
- 3) при установке ВЭС требуется наиболее широкий комплекс наблюдений третьей категории сложности.

Программа экспедиционных работ составляется в каждом случае отдельно с учетом конкретного задания и специфики места размещения ВЭУ.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА ДО ВЫСОТЫ 50 м КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ

6.1. Для того чтобы определить производительность ВЭУ и режим ее работы в том или ином районе, необходимо располагать соответствующей информацией о ветре. Желательно знать хотя бы две статистики распределения: среднюю скорость ветра (\bar{u}) и коэффициент вариации (\bar{c}_u). Рассчитать их не представляет труда для тех пунктов и на тех уровнях, где проводятся наблюдения за ветром. Однако ВЭУ размещаются, как правило, вдали от метеорологических и аэрологических станций. Поэтому возникает задача восстановления режима ветра в любой точке СССР (за исключением горных и других районов, где под влиянием местных условий происходит искажение фонового распределения ветра) и на той высоте, где располагается ветроколесо ВЭУ.

6.2. Наиболее эффективным способом решения этой задачи в настоящее время является статистический. Его реализация может осуществляться по-разному, в зависимости от наличия той или иной исходной информации. Более точное решение будет в том случае, если в месте расположения ВЭУ проведена серия кратковременных наблюдений за ветром. После их "привязки" к опорной станции и расчета параметров распределения нетрудно восстановить вертикальный профиль среднего ветра, используя статистические зависимости в /9/ и степенной закон изменения скорости с высотой.

6.3. Однако в практике изыскательских работ, по-видимому, значительно чаще будут встречаться случаи, когда оценку ветроэнергоресурсов в районе предполагаемого размещения ВЭУ придется осуществлять без проведения специальных анемометрических съемок. Поэтому для проектировщика важно иметь конкретные методические рекомендации для таких случаев.

Выполненные с этой целью разработки и приведенные здесь результаты основаны на взаимосвязи средней скорости ветра и коэффициента вариации на различных уровнях 200-метрового слоя атмосферы. В качестве исходной информации использовались данные 146 станций Нового аэроклиматического справочника по климату СССР /10/. В результате анализа характера статистической связи параметров ветра всю территорию СССР удалось подразделить на шесть зон с различной степенью шероховатости подстилающей поверхности в соответствии с табл.5.

Таблица 5

Районирование территории СССР по типам местоположения ВЭУ

Номер зоны	Характеристика подстилающей поверхности
1	Острова, побережья внешних морей в окружении равнинного рельефа
2	Острова, побережья внешних морей в окружении сложного рельефа. Предгорья, продуваемые ветром. Сфагновые болота, тундра
3	Районы лесостепей, степей, полупустынь на территории ЕЧС. Лесотундра, пустыни, открытые побережья внутренних морей, крупных озер СССР
4	Районы лесостепей, степей, полупустынь на АЧС. Закрытые (малопродуваемые) побережья внутренних морей СССР. Бухты внутренних и внешних морей СССР
5	Лесная зона в окружении равнинного рельефа (ЕЧС, Западная Сибирь, внутренние районы Камчатки, Сахалина и др.). Поймы крупных рек, озер и лесной зоне со сложным рельефом (Восточная Сибирь, Дальний Восток и др.)
6	Лесная зона в окружении сложного рельефа (Зауралье, Восточная Сибирь, Дальний Восток и др.)

Для восстановления параметров ветра на различных высотах предполагается пользоваться таблицами приложения 1, 2. Приложение 1 позволяет определять значения \bar{u}_z / \bar{u}_{10} для каждой ветровой зоны и значения $c_{u(z)} / c_{u(10)}$ для всей территории СССР. Приложение 2 рекомендуется использовать в том случае, если проектировщик располагает исходной информацией о ветре не у земли, а на высоте 200 м.

6.4. Пример. Предположим, требуется определить параметры скорости ветра на высоте 50 м в районе Харькова. Эту задачу можно решить двумя способами в зависимости от исходной информации.

Первый способ требует исходных данных на уровне флюгера. Используя карту растительности СССР, находим номер зоны по табл.5. Харьков расположен в лесостепной зоне

ЕЧС, относим его к третьей зоне. Затем, если неизвестны параметры \bar{u} и c_u у земли в районе Харькова, определим их косвенно. В частности, отыскиваем ближайшую к Харькову станцию-аналог, расположенную в этой же зоне (третьей) со сходными условиями местоположения (по рельефу, растительности, защищенности и т.д.). Допустим, этой станцией является Кривой Рог с известными параметрами на уровне 10 м: $\bar{u}_{10} = 4,7$ м/с /11/, $c_{u(10)} = 0,64$. Присваивая эти значения ст. Харьков и пользуясь данными таблицы приложения 1 (деленными на 100), определяем:

$$\bar{u}_{50} = \bar{u}_{10} (\bar{u}_{50} / \bar{u}_{10}) = 1,37 \cdot 4,7 = 6,4 \text{ м/с};$$

$$c_{u(50)} = c_{u(10)} (c_{u(50)} / c_{u(10)}) = 0,73 \cdot 0,64 = 0,47.$$

Второй способ предусматривает в качестве исходной информации данные на уровне 200 м над землей. Также с помощью табл.5 относим Харьков к третьей ветровой зоне. На фоновой карте или (как в первом способе) по данным станции-аналога определяем параметры на уровне 200 м. Используя данные справочника /10/ по ст. Кривой Рог, считаем, что и для района Харькова $\bar{u}_{200} = 7,6$ м/с, $c_{u(200)} = 0,47$. Тогда по таблице приложения 2 находим

$$\bar{u}_{50} = \bar{u}_{200} (\bar{u}_{50} / \bar{u}_{200}) = 0,86 \cdot 7,6 = 6,5 \text{ м/с};$$

$$c_{u(50)} = c_{u(200)} (c_{u(50)} / c_{u(200)}) = 1,12 \cdot 0,47 = 0,53.$$

7. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЭУ ПРИ ИЗВЕСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ РЕЖИМА ВЕТРА

7.1. Производительность ВЭУ

7.1.1. Общая мощность суммарного (полного) ветрового потока N_n (Вт) оценивается по формуле

$$N_n = \frac{1}{2} \rho \bar{u}_n^3 S,$$

где ρ - плотность воздуха; \bar{u}_n^3 - средний куб скорости ветра, определяемый по данным наблюдений; S - площадь сечения ветрового потока.

Общая (полная) энергия ветра за период T составит

$$\bar{Q}_n = \frac{1}{2} \rho \bar{u}_n^3 S T.$$

Тогда средняя производительность ветроагрегата (\bar{A}) с номинальной мощностью N_e (кВт), начальной скоростью ветроколеса u_0 (м/с), скоростью регулирования $u_{ном}$ (м/с) и максимальной скоростью $u_{макс}$ (м/с) будет равна

$$\bar{A} = \frac{\bar{u}_{u_0-u_{ном}-u_{макс}}^3}{\bar{u}_{ном}^3} N_e T, \quad (7)$$

где

$$\bar{u}_{u_0-u_{ном}-u_{макс}}^3 = \bar{u}_n^3 \left[I(x_{ном}, m) - I(x_0, m) + \frac{u_{ном}^3}{\bar{u}_n^3} f(u_{макс} > u \geq u_{ном}) \right] \quad (8)$$

- средний куб скорости в диапазоне рабочих скоростей ($u_{макс} > u \geq u_0$);

$I(x, m) = \frac{1}{\Gamma(m)} \int_0^x e^{-t} t^{m-1} dt$ - неполная гамма-функция;

$x = \left(\frac{u}{\beta} \right)^\gamma$, $m = \frac{3}{\gamma} + 1$, β и γ - параметры функции Вейбулла;

$\Gamma(m)$ - полная гамма-функция;

$f(u_{макс} > u \geq u_0)$ - повторяемость диапазона номинального режима.

7.1.2. Для упрощения расчетов \bar{u}_n^3 и $\bar{u}_{u_0-u_{ном}-u_{макс}}^3$ рекомендуется пользоваться стандартными таблицами приложения 3-5. Для примера рассчитаем среднюю годовую производительность ветроагрегата АВЭУ-6 ($N_e = 4$ кВт, $u_0 = 4$ м/с, $u_{ном} = 7,7$ м/с, $u_{макс} = 25$ м/с), установленного на метеоплощадке Барабинск ($\bar{u} = 4,6$ м/с, $c_u = 0,69$). Для этого необходимо:

1) с помощью таблицы приложения 3 и "входных" параметров \bar{u} , c_u определить средний куб скорости: $\bar{u}_n^3 = 272 \text{ м}^3/\text{с}^3$ (при необходимости используется простая интерполяция);

2) с помощью таблицы приложения 4 и параметров $u_{ном} / \bar{u} = 1,67$, $c_u = 0,69$, $u_0 / \bar{u} = 0,87$

определить значения двух других членов выражения (7):

$$I(x_{ном}, m) = I(1,67; 0,69) = 0,27; I(x_0, m) = I(0,87; 0,69) = 0,034;$$

3) с помощью таблицы приложения 5 и "выходных" параметров $u_{ном} / \bar{u} = 1,67$, $c_u = 0,69$, найти значение последнего члена выражения (8):

$$\frac{u_{ном}}{u_n^3} f(u \geq u_{ном}) = 0,264$$

(ввиду малых значений $f(u \geq u_{ном})$ замена в расчетах величины $f(u_{макс} > u \geq u_{ном})$ на $f(u \geq u_{ном})$ не вносит заметных погрешностей);

4) подставить найденные значения в формулу (7):

$$\bar{A} = \frac{272(0,27 - 0,034 + 0,264)}{7,7^3} \cdot 4 \cdot 8760 = 10438 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Следует заметить, что расчет \bar{A} , выполненный на ЭВМ, дает результат $\bar{A} = 10588,2$ кВт·ч. Следовательно, погрешность рекомендуемого нами табличного метода составляет всего 1,4%.

7.2. Время работы и простоев ВЭУ

7.2.1. Суммарное время работы ветроагрегата (t_p) находится по формуле

$$t_p = \frac{f(u \geq u_0) \cdot T}{100}, \quad (9)$$

где $f(u \geq u_0)$ - вероятность превышения начальной скорости ветроагрегата, %; T - период превышения, ч (год - 8760, полугодие - 4380, месяц - 720 и т.д.).

Значения $F(u \geq u_0)$ в зависимости от параметров режима ветра u_0 / \bar{u} и c_u затабулированы в таблице приложения 6 (в соответствии с распределением Вейбулла).

Для определения суммарной длительности простоев ВЭУ (t_n) используется простое соотношение

$$t_n = T - t_p. \quad (10)$$

Средняя непрерывная длительность периодов работы (\bar{t}_p) ВЭУ рассчитывается по статистическим зависимостям, приведенным в /12/ или по таблице приложения 7. Средняя непрерывная длительность простоев ВЭУ находится по формуле

$$\bar{t}_n = \bar{t}_p \frac{100 - f(u \geq u_0)}{f(u \geq u_0)}. \quad (11)$$

При этом следует иметь в виду, что таблица приложения 7 рассчитана по данным ежечасных наблюдений. При необходимости оценки параметров \bar{t}_p и \bar{t}_n с меньшей или большей дискретностью наблюдений в полученные результаты следует вводить поправки. Пояснения к этому вопросу можно получить в /12/.

7.3. Расчет выработки ВЭУ по распределению Релея

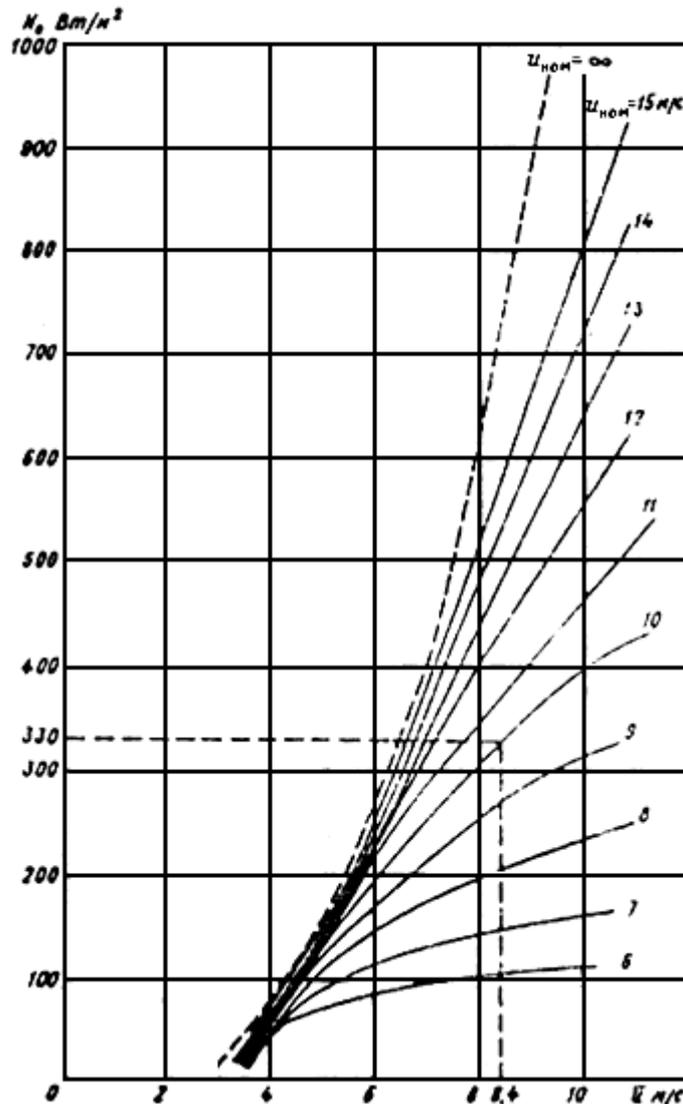
7.3.1. Годовая выработка энергии при заданной средней годовой скорости ветра \bar{u}_z является одним из основных показателей качества ветроэнергетической техники. Для определения годовой выработки энергии W необходимо знать номинальную мощность ветроагрегата $N_{e(ном)}$, расчетную скорость ветра $u_{ном}$, при которой достигается номинальная мощность, минимальную и максимальную скорость ветра u_0 и $u_{макс}$.

Для сравнения основных показателей качества ветроагрегата и ВЭУ целесообразно определить их выработку энергии в одних и тех же ветровых условиях. Для этого необходимо использовать в расчетах один и тот же режим повторяемости скорости ветра. Поскольку распределение Релея является простым и наиболее часто используемым в практике приближенных расчетов выработки энергии в зарубежных странах (США, Дания и др.), то для взаимного сравнения качества ВЭУ в одних и тех же ветровых условиях расчет выработки энергии следует проводить для распределения скоростей ветра по Релею.

7.3.2. Распределение Релея является частным случаем распределения Вейбулла для $\gamma = 2$ и соответствует условиям открытой равнинной местности вблизи морского побережья.

Расчет реальной удельной мощности ветрового потока N_e производился по распределению Релея при различных значениях скорости u_0 (от 6 до 15 м/с) на персональном компьютере "Роботрон-1715". Результаты расчета представлены на черт.5.

График расчета удельной мощности ветрового потока N_e при распределении скорости ветра u по Релею



Черт. 5

7.3.3. Пример. Определим годовую выработку энергии ветра разрабатываемого агрегата АВЭ-100 в сравнении с ВЭУ фирмы "Koster" (ФРГ) марки Adler-25 для района с $\bar{u} = 7$ м/с (на уровне 10 м от поверхности земли). Характеристики этих ветроустановок приведены в табл.6.

Таблица 6

Тип, марка	Номинальная мощность $N_{e(ном)}$ (кВт)	Диаметр ветрового колеса D (м)	Высота ветрового колеса H (м)	Расчетная скорость ветра $u_{ном}$ (м/с)	Максимальная скорость ветра $u_{макс}$ (м/с)
АВЭ-100	100	25	25	10,0	25
Adler-25	100	25	22	10,5	20

Порядок решения следующий.

1. Принимая в соответствии с /1/ показатель степени $m = 0,2$, определим среднюю скорость ветра \bar{u} на оси ветроколеса:
для АВЭ-100

$$\bar{u} = \bar{u}_{10} \left(\frac{H}{10} \right)^m = 7 \left(\frac{25}{10} \right)^{0,2} = 8,4 \text{ м/с}; \quad (12)$$

для Adler-25

$$\bar{u}' = \bar{u}'_{10} \left(\frac{H}{10} \right)^{m'} = 7 \left(\frac{22}{10} \right)^{0,2} = 8,2 \text{ м/с}. \quad (13)$$

2. Пользуясь формулой

$$N_{e(\text{ном})} = \frac{D^2 u_{\text{ном}}^3}{2080} \cdot \eta_0 \quad (14)$$

(где η_0 - общий КПД агрегата, включающий коэффициент использования энергии ветра, КПД редуктора и генератора), рассчитаем общий КПД агрегата:

для АВЭ-100

$$\eta_0 = \frac{2080 \cdot 100}{25^2 \cdot 10^3} = 0,33;$$

для Adler-25

$$\eta_0 = \frac{2080 \cdot 100}{25^2 \cdot 10^3} = 0,29.$$

3. По черт. 5 определим значение удельной мощности установок для $u_{\text{ном}} = 10,0$ м/с и $\bar{u} = 8,4$ м/с, а также для $u'_{\text{ном}} = 10,5$ м/с и $\bar{u}' = 8,2$ м/с.

Для АВЭ-100 $N_e = 0,33$ кВт/м², для Adler-25 $N'_e = 0,34$ кВт/м².

4. Ометаемая площадь поверхности ветроколеса обеих машин равна

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 491 \text{ м}^2. \quad (15)$$

5. Годовую выработку энергии (за 8760 ч) определим по формуле

$$W_e = 8760 N_e S \eta_0. \quad (16)$$

Для АВЭ-100

$$W_e = 8760 \cdot 0,33 \cdot 491 \cdot 0,33 = 468396 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

для Adler-25

$$W'_e = 8760 \cdot 0,34 \cdot 491 \cdot 0,29 = 424094 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

7.4. Расчет выработки ВЭУ по данным наблюдений на метеорологических станциях

7.4.1. Расчет следует производить по формуле

$$W = \sum_{u_i=u_0}^{u_i=u_{\text{макс}}} N_i T_i, \quad (17)$$

где N_i - мощность агрегата, развиваемая при скорости ветра u_i (u_i изменяется дискретно и определяется как среднее значение для градаций); T_i - число часов работы агрегата при скорости ветра за рассчитываемый период времени (год, месяц).

Пример. Рассчитаем месячную (за июнь) и годовую выработку энергии ветроагрегата АВЭУ-6-4М для условий метеорологической станции Сырве в Эстонии.

Исходными данными для расчета является повторяемость различных градаций скорости ветра (в процентах) для ст. Сырве (согласно данным "Справочника по климату СССР"), которая представлена в табл.7.

Таблица 7

Период	Градация скорости ветра, м/с											
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	21-24	25-28
Месяц	12,5	16,9	26,4	20,9	12,0	7,7	2,7	0,7	0,2	0	0	0
Год	12,4	15,3	21,1	18,4	12,6	9,5	5,9	2,6	1,8	0,6	0,04	0

Мощность, развиваемая агрегатом АВЭУ-6-4М (максимально возможная), для средних значений градаций скорости приводится в табл.8.

Таблица 8

Параметр	Скорость ветра, м/с				
	2,5	4,5	6,5	8,5	9,0
Мощность расчетная, кВт	0,08	0,50	1,5	3,4	4,0
Мощность экспериментальная, кВт	0	0,35	1,25	3,2	4,0

Учитывая наличие экспериментальных данных, при расчете ожидаемой выработки ориентируемся на них, как на более достоверные.

Результаты расчетов энергетических характеристик АВЭУ-6-4М за июнь сведены в табл.9.

Таблица 9

Середина градации скорости ветра, м/с	Развиваемая мощность, кВт	Повторяемость скорости	Число рабочих часов, ч	Выработка, кВт·ч
4,5	0,35	0,260	187	65
6,5	1,25	0,209	150	187
8,5	3,2	0,120	86	275
≥ 10,5	4,0	0,113	81	324
Σ				851

Результаты расчетов тех же характеристик за год приведены в табл.10.

Таблица 10

Середина градации скорости ветра, м/с	Развиваемая мощность, кВт	Повторяемость скорости	Число рабочих часов, ч	Выработка, кВт·ч
4,5	0,35	0,211	1846	646
6,5	1,25	0,184	1610	2010
8,5	3,20	0,126	1100	3520
≥ 10,5	4,00	0,204	1784	7140
Σ				13316

7.5. Учет влияния степени открытости местности на выработку энергии

7.5.1. Данные о скорости ветра, полученные на метеорологических станциях, строго говоря, характеризуют режим ветра на площадке, где установлен анемометр. Степень затененности местоположения (чаще используется термин "степень открытости" места установки анемометра) определяется по классификации В.Ю. Милевского. Степень открытости станции указывается по всем восьми румбам /11/. Общая степень открытости местоположения рассчитывается как средний балл и называется масштабом класса открытости М /13/.

7.5.2. В табл.11 приведена классификация местоположения по В.Ю. Милевскому, цифры в скобках относятся к баллам, характеризующим масштаб класса открытости М /1, 13/.

Таблица 11

Характеристика размещения	Форма рельефа		
	выпуклая (а, α)	плоская (б, β)	вогнутая (в, γ)
Вблизи от водной поверхности			
Открытое побережье океана или внешнего моря	12а (23)	11б (21)	10в (18)
внутреннего моря	11а (22)	10б (19)	9в (15)
залива, большого озера	10а (20)	9б (16)	8в (12)
большой реки	9а (17)	8б (13)	7в (9)
Вдали от водной поверхности			
Ниже ветроизмерительного прибора			
нет элементов защищенности	8а (14)	7б (10)	6в (6)
отдельные элементы защищенности	7а (11)	6б (7)	5в (4)
среди элементов защищенности	6а (8)	5б (5)	5в (3)
Выше ветроизмерительного прибора			

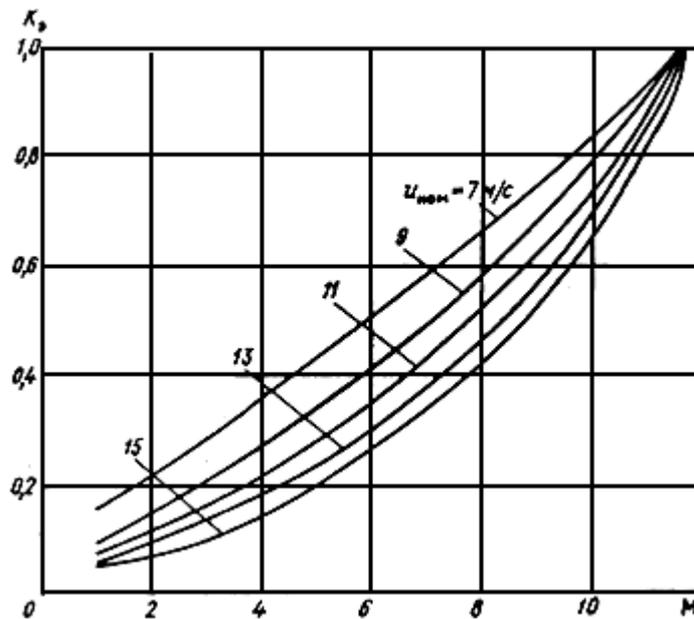
среди элементов защищенности	4α (2)	4β (1)	4γ (0)
------------------------------	---------------	--------------	---------------

Примечание. Элементами защищенности могут считаться холмы, строения, деревья, если расстояние от них до ветроизмерительного прибора меньше 20-кратной их высоты.

7.5.3. Классификация В.Ю. Милевского применима в основном к равнинной территории. Анализ параметров β и γ распределения Вейбулла для 550 метеостанций СССР в сочетании с определенными для них величинами масштаба класса открытости M показал, что для равнинной территории между M и параметрами β и γ существует взаимосвязь. Для всей территории СССР, кроме Дальнего Востока, минимальному среднему значению $M=2$ соответствуют средние значения $\gamma = 0,92$ и $\beta = 2$ м/с, максимальному значению $M=23$ соответствуют $\gamma = 1,7$ и $\beta = 10,5$ м/с. Для районов Дальнего Востока среднему $M=2$ соответствуют средние значения $\gamma = 0,7$ и $\beta = 1,0$ м/с, а максимальному значению $M=23$ соответствуют $\gamma = 1,5$ и $\beta = 10,5$ м/с.

Расчеты на ЭВМ дали конкретные цифровые данные удельной реальной мощности ветрового потока (при $\eta_0 = 1$) для различных значений \bar{u} и $u_{ном}$. Для удельной мощности ветрового потока, равной единице, при $M=23$ и различных $u_{ном}$ был произведен расчет снижения удельной реальной мощности ветрового потока для всего возможного изменения величины M (черт.6, 7).

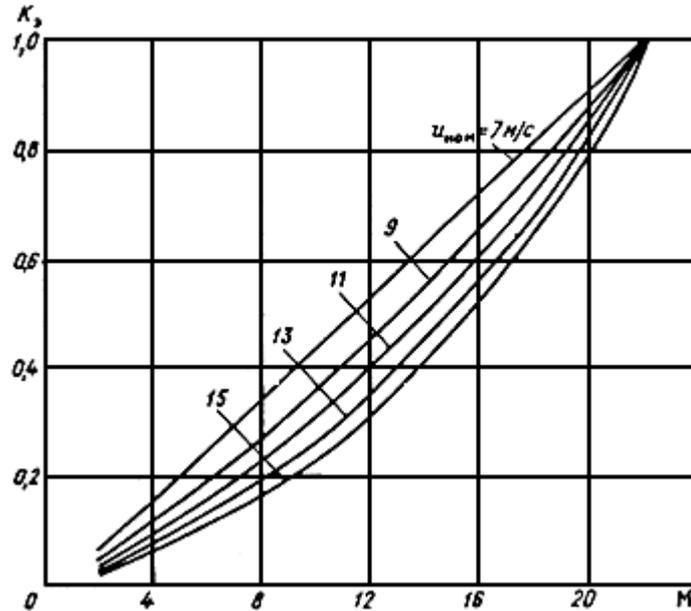
Зависимость энергетического коэффициента K_p от масштаба открытости M для территории СССР* при различных $u_{ном}$



* Кроме Дальнего Востока.

Черт.6

Зависимость K , от M для районов Дальнего Востока



Черт. 7

Таким образом, если определен масштаб класса открытости метеостанции с известными ветровыми условиями и масштаб класса открытости участка для ВЭУ, то по полученным зависимостям можно уточнить расчет ожидаемой выработки энергии на предполагаемом месте установки ВЭУ.

Пример. Рассчитаем величину максимально возможной выработки энергии ветроагрегата АВЭУ-6-4М при его использовании на месте, характеризующимся следующими признаками. Рельеф ровный, местность открытая. С запада и юга к выбранной площадке примыкает пашня. С севера на расстоянии 60-100 м размещаются строения фермы высотой до 7 м. С восточной стороны имеются отдельные деревья и небольшой овраг. Место находится в 256 км к северу от ближайшей метеостанции Ново-Иерусалимская Истринского района Московской области.

Оценка открытости данного места по классификации В.Ю. Милевского определена визуально и приводится в табл. 12.

Таблица 12

Показатель	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Классификация по Милевскому	6б	6б	6а	7б	7б	7б	7б	6б
Масштаб класса открытости, М	7	7	8	10	10	10	10	7

Среднее значение масштаба класса открытости в данных условиях $M=8,6$.

Ближайшая станция Ново-Иерусалимская имеет следующую классификацию местоположения по Милевскому (табл.13).

Таблица 13

Показатель	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Классификация по Милевскому	4в	5в	6в	6в	6в	4в	4в	5в
Масштаб класса открытости, М	4	5	6	6	6	4	4	5

Среднее значение масштаба класса открытости $M=5$.

Повторяемость различных градаций скорости ветра на метеостанции Ново-Иерусалимская за многолетний период следующая:

Градация скорости ветра, м/с	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15
Повторяемость скоростей ветра	0,35	0,33	0,22	0,07	0,02	0,0053	0,0005	0,0002

Результаты расчета ожидаемой выработки энергии АВЭУ-6 по данным метеостанции Ново-

Иерусалимская приведены в табл.14.

Таблица 14

Градация скорости ветра, м/с	Середина градации, м/с	Развиваемая мощность, кВт	Повторяемость скорости	Число рабочих часов в году, ч	Выработка, кВт·ч
4-5	4,5	0,35	0,22	1925	674
6-7	6,5	1,25	0,07	613	766
8-9	8,5	3,20	0,02	175	560
≥ 10	≥ 9	4,0	0,006	52	208
Σ				2765	2208

Производим учет местных условий размещения, принимая во внимание зависимость энергетического коэффициента K_3 от масштаба класса открытости M . Для $M=5$ и $M=8,6$ и $u_p = 9$ м/с энергетические коэффициенты K_3 равны соответственно $K_{31} = 1,08$ и $K_{32} = 0,30$ (черт.6).

Следовательно, расчетная выработка энергии ветроагрегата на выбранной площадке по сравнению с выработкой в условиях метеостанции будет больше:

$$\frac{K_{32}}{K_{31}} = \frac{0,30}{0,18} = 1,67.$$

Учитывая, что максимальное расчетное значение годовой выработки энергии на метеостанции составляет 2208 кВт·ч, можно рассчитать ожидаемую выработку АВЭУ-6-4М на новой площадке:

$$W_2 = \frac{K_{32}}{K_{31}} = 1,67 \cdot 2208 = 3687 \text{ кВт·ч.}$$

Расчитанная методом приведения данных кратковременных экспедиционных измерений к опорной станции (см. разд.3) выработка энергии (для нашего примера) равна $W_2 = 3582$ кВт·ч. Разность в расчетах не превышает 3%, что следует считать хорошим результатом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Рекомендуемое

Отношение (%) средних скоростей ветра \bar{u}_z / \bar{u}_{10} и коэффициентов вариации $c_{u(z)} / c_{u10}$ на высоте z и на уровне 10 м над землей в зависимости от номера зоны

$z, \text{ м}$	\bar{u}_z / \bar{u}_{10} для ветровой зоны						$c_{u(z)} / c_{u10}$
	1	2	3	4	5	6	
5	96	93	89	84	78	71	109
10	100	100	100	100	100	100	100
20	106	109	114	120	128	139	92
30	110	116	123	135	150	170	85
40	112	120	130	146	168	197	78
50	114	123	137	156	183	219	73

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Рекомендуемое

Отношение (%) средних скоростей ветра $\bar{u}_z / \bar{u}_{200}$ и коэффициентов вариации $c_{u(z)} / c_{u(200)}$ на высоте z и на уровне 200 м над землей в зависимости от номера зоны

$z, \text{ м}$	$\bar{u}_z / \bar{u}_{200}$ для ветровой зоны						$c_{u(z)} / c_{u(200)}$
	1	2	3	4	5	6	
5	80	66	55	42	31	18	176
10	84	73	63	52	42	29	159
20	88	80	71	62	52	40	144
30	92	85	77	69	61	49	131

40	95	89	82	76	67	56	120
50	97	92	86	80	72	62	112

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

Значения \bar{u}^3 (м³/с³), характеризующие полную энергию ветра при различных коэффициентах вариации $c_u = 0,40 \dots 0,60$

\bar{u} , м/с	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61
3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	74
3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	81	84	89
3,6	-	-	-	-	-	-	-	92	95	101	105
3,8	-	-	-	-	-	-	103	108	112	118	124
4,0	-	-	-	-	-	116	120	126	131	138	145
4,2	-	-	-	-	128	134	139	146	152	159	167
4,4	-	-	-	142	148	154	160	168	175	184	193
4,6	-	-	156	162	168	176	183	192	199	210	220
4,8	-	170	177	184	192	200	208	218	227	238	250
5,0	186	193	200	208	216	226	235	246	256	269	282
5,2	209	217	225	234	244	254	264	277	288	302	317
5,4	234	243	252	262	273	284	296	310	322	339	356
5,6	261	271	281	292	304	317	330	346	360	378	397
5,8	290	301	312	324	338	352	367	384	400	420	441
6,0	321	333	346	359	374	390	406	424	443	465	448
6,2	354	368	382	397	413	430	448	469	448	513	538
6,4	389	404	420	436	454	474	493	517	537	564	592
6,6	427	443	460	479	498	519	540	566	589	619	649
6,8	467	485	504	523	545	568	591	620	644	676	711
7,0	510	529	549	571	594	619	645	676	702	738	775
7,2	554	576	598	621	647	674	702	736	765	803	844
7,4	602	625	648	674	702	732	762	798	830	872	915
7,6	652	677	703	731	761	793	825	865	899	945	991
7,8	705	732	759	790	823	857	893	935	972	1022	1072
8,0	760	790	820	852	887	924	963	1009	1049	1102	1156
8,2	819	850	882	917	956	996	1037	1084	1130	1187	1246
8,4	880	914	949	987	1027	1070	1115	1168	1214	1276	1338
8,6	945	981	1019	1059	1102	1149	1196	1254	1302	1370	1437
8,8	1012	1051	1091	1134	1182	1230	1282	1342	1396	1467	1539
9,0	1083	1125	1167	1214	1263	1316	1371	1437	1494	1570	1648
9,2	1156	1201	1246	1296	1350	1405	1465	1534	1595	1676	1759
9,4	1233	1281	1330	1383	1439	1499	1562	1637	1702	1789	1876
9,6	1314	1365	1416	1472	1534	1598	1664	1744	1812	1904	1999
9,8	1397	1452	1507	1567	1630	1699	1771	1854	1929	2027	2126
10,0	1485	1543	1602	1664	1733	1806	1881	1971	2048	2152	2260

$c_u = 0,60 \dots 0,80$

\bar{u} , м/с	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
2,0	-	-	-	-	-	23	24	25	26	27	29
2,2	-	-	-	-	29	31	32	33	35	36	39
2,4	-	-	-	36	38	40	41	43	45	47	50
2,6	-	-	44	46	48	50	53	55	57	60	64
2,8	-	52	55	57	60	63	66	69	71	75	80
3,0	61	64	67	71	74	77	81	85	88	93	98
3,2	74	78	82	86	90	94	98	103	106	112	119
3,4	89	94	98	103	108	112	117	123	128	135	143

3,6	105	111	117	122	128	134	139	146	152	160	170
3,8	124	131	137	143	150	157	164	172	179	188	200
4,0	145	152	160	167	176	183	191	201	208	220	232
4,2	167	176	186	194	203	212	221	232	241	254	269
4,4	193	203	213	223	234	244	255	267	277	292	310
4,6	220	232	244	254	267	278	291	305	317	334	354
4,8	250	263	277	289	303	316	331	345	360	380	402
5,0	282	298	312	327	343	357	374	392	460	429	455
5,2	317	335	352	368	386	403	420	441	458	483	511
5,4	356	375	394	412	432	451	471	493	512	541	573
5,6	397	418	439	459	482	503	525	550	572	603	638
5,8	441	465	488	510	536	559	584	612	636	670	710
6,0	488	514	541	565	593	618	646	677	703	742	785
6,2	538	567	596	624	654	682	713	748	776	818	867
6,4	592	624	655	686	719	750	784	822	854	900	952
6,6	649	684	720	752	789	823	860	902	936	988	1045
6,8	711	748	787	823	864	900	941	985	1024	1079	1142
7,0	775	817	858	898	942	982	1026	1075	1116	1178	1247
7,2	844	888	933	976	1025	1068	1117	1170	1215	1282	1356
7,4	915	965	1014	1060	1112	1160	1212	1271	1320	1391	1473
7,6	991	1045	1098	1148	1205	1256	1313	1377	1430	1508	1595
7,8	1072	1130	1186	1242	1302	1358	1420	1488	1544	1630	1725
8,0	1156	1220	1281	1340	1405	1465	1532	1606	1666	1758	-
8,2	1246	1313	1379	1442	1514	1577	1650	1728	1795	1894	-
8,4	1338	1400	1482	1550	1628	1696	1774	1858	1928	-	-
8,6	1437	1515	1592	1665	1747	1819	1903	1994	2072	-	-
8,8	1539	1622	1705	1783	1871	1951	2039	2137	-	-	-
9,0	1648	1735	1823	1907	2001	2087	2179	2286	-	-	-
9,2	1759	1854	1949	2037	2137	2229	2330	-	-	-	-
9,4	1876	1977	2078	2172	2280	2378	2483	-	-	-	-
9,6	1999	2107	2213	2315	2428	2533	-	-	-	-	-
9,8	2126	2244	2354	2463	2585	2694	-	-	-	-	-
10,0	2226	2380	2502	2612	2746	-	-	-	-	-	-

$c_u = 0,80 \dots 1,00$

\bar{u} , М/с	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
2,0	29	30	32	34	36	38	39	41	43	46	48
2,2	39	40	42	45	47	50	52	54	57	61	64
2,4	50	53	55	58	61	65	68	70	74	79	83
2,6	64	67	70	74	78	82	86	90	94	100	105
2,8	80	83	88	92	97	103	107	112	117	125	132
3,0	98	103	108	114	120	127	132	138	144	154	162
3,2	119	124	131	138	145	154	160	167	174	187	197
3,4	143	150	157	165	174	184	192	200	210	225	236
3,6	170	177	186	196	207	219	228	238	249	267	280
3,8	200	208	219	230	243	258	269	280	292	313	329
4,0	232	244	255	269	284	301	313	327	341	365	-
4,2	269	282	296	312	329	348	362	378	395	424	-
4,4	310	324	340	358	378	400	416	435	454	-	-
4,6	354	370	389	409	432	457	476	496	519	-	-
4,8	402	420	441	465	491	520	541	564	-	-	-
5,0	455	476	500	525	555	588	611	637	-	-	-
5,2	511	535	562	591	624	660	687	-	-	-	-
5,4	573	600	629	661	699	739	770	-	-	-	-
5,6	638	668	701	738	779	825	-	-	-	-	-
5,8	710	742	780	819	866	917	-	-	-	-	-
6,0	785	822	863	908	956	-	-	-	-	-	-
6,2	867	906	952	1002	1058	-	-	-	-	-	-
6,4	952	996	1046	1102	-	-	-	-	-	-	-

6,6	1045	1094	1149	1208	-	-	-	-	-	-	-
6,8	1142	1196	1256	-	-	-	-	-	-	-	-
7,0	1247	1305	1369	-	-	-	-	-	-	-	-
7,2	1356	1420	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,4	1473	1543	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,6	1595	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,8	1725	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

Значение неполной гамма-функции $[I(x, t), \%$] в зависимости от u/\bar{u}
 $c_u = 0,40 \dots 0,60$

u/\bar{u}	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
0,55	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
0,6	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
0,65	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7
0,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,4	2,4	2,2	2,2
0,75	4,4	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	2,6
0,8	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1
0,85	7,4	7,0	6,7	6,3	6,0	5,6	5,3	5,0	4,8	4,4	4,2
0,9	9,8	9,2	8,6	8,1	7,6	7,2	6,7	6,3	6,2	5,6	5,2
0,95	12,2	11,4	10,6	9,9	9,2	8,7	8,1	7,6	7,6	6,7	6,2
1,0	14,5	13,5	12,6	11,7	10,9	10,2	9,5	8,9	8,3	7,8	7,3
1,05	18,6	17,4	16,2	15,0	13,9	12,9	12,0	11,2	10,4	9,6	9,0
1,1	22,6	21,2	19,7	18,2	16,9	15,6	14,4	13,4	12,4	11,5	10,6
1,15	26,7	25,0	23,2	21,5	19,9	18,3	16,9	15,6	14,4	13,4	12,3
1,2	30,8	28,8	26,8	24,8	22,9	21,1	19,4	17,9	16,5	15,2	14,0
1,25	36,0	33,6	31,3	29,0	26,9	24,7	22,7	21,0	19,3	17,8	16,3
1,3	41,1	38,4	35,8	33,2	30,9	28,3	26,0	24,0	22,1	20,3	18,6
1,35	46,2	43,2	40,3	37,4	34,7	31,9	29,4	27,0	24,9	22,8	20,9
1,4	51,4	48,1	44,8	41,6	38,5	35,5	32,7	30,1	27,7	25,4	23,2
1,45	56,4	52,8	49,1	45,7	42,4	39,4	36,4	33,6	31,0	28,4	26,0
1,5	61,8	57,4	53,4	49,8	46,4	43,2	40,1	37,0	34,2	31,4	28,7
1,55	66,0	62,0	58,2	54,4	50,7	47,1	43,8	40,5	37,4	34,4	31,4
1,6	71,2	67,2	63,0	59,0	55,0	51,0	47,5	44,0	40,6	37,3	34,2
1,65	74,5	70,2	65,0	62,0	58,5	54,6	51,0	47,4	43,8	40,4	37,0
1,7	78,0	73,8	69,8	65,8	61,8	58,1	54,4	50,7	47,0	43,4	39,9
1,75	-	77,3	73,3	69,3	65,4	61,5	57,8	54,0	50,3	46,5	42,8
1,8	-	-	-	-	69,2	65,1	61,3	57,4	53,5	49,6	45,8
1,85	-	-	-	-	-	68,0	63,8	59,8	56,0	52,4	48,5
1,9	-	-	-	-	-	-	-	62,8	58,8	55,1	51,4
1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	61,8	57,7	54,2

$c_u = 0,60 \dots 0,80$

u/\bar{u}	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,55	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
0,6	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
0,65	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
0,7	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
0,75	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
0,8	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7
0,85	4,2	3,9	3,6	3,4	3,1	3,0	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2
0,9	5,2	4,8	4,6	4,2	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
0,95	6,2	5,8	5,5	5,1	4,8	4,4	4,1	4,9	3,6	3,4	3,1

1,0	7,3	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6
1,05	9,0	8,3	7,8	7,2	6,8	6,3	5,8	6,4	5,1	4,8	4,4
1,1	10,6	9,8	9,2	8,5	7,9	7,4	6,8	5,4	6,0	5,6	5,2
1,15	12,3	11,4	10,6	9,8	9,0	8,4	7,8	7,4	6,8	6,4	6,0
1,2	14,0	12,9	11,9	11,0	10,2	9,5	8,9	8,3	7,7	7,2	6,7
1,25	16,3	15,0	13,8	12,7	11,8	11,0	10,2	9,5	8,8	8,3	7,7
1,3	18,6	17,0	15,6	14,4	13,4	12,4	11,5	10,7	10,0	9,4	8,7
1,35	20,9	19,1	17,6	16,2	15,0	13,8	12,8	11,9	11,2	10,4	9,7
1,4	23,2	21,2	19,5	17,9	16,5	15,2	14,1	13,1	12,3	11,5	10,7
1,45	26,0	23,8	21,8	20,2	18,6	17,2	16,0	14,8	13,8	13,0	12,0
1,5	28,7	26,3	24,2	22,4	20,6	19,1	17,8	16,5	15,4	14,4	13,3
1,55	31,4	28,8	26,6	24,6	22,7	21,0	19,6	18,2	17,0	15,8	14,6
1,6	34,2	31,4	29,0	26,8	24,8	23,0	21,4	19,9	18,5	17,2	15,9
1,65	37,0	34,1	31,5	29,1	27,0	25,0	23,4	21,8	20,2	18,8	17,4
1,7	39,9	36,8	34,0	31,4	29,1	27,0	25,3	23,7	22,0	20,5	19,0
1,75	42,8	39,6	36,6	33,8	31,2	29,0	27,2	25,5	23,8	22,2	20,5
1,8	45,8	42,3	39,1	36,1	33,4	31,1	29,2	27,3	25,5	23,8	22,0
1,85	48,5	45,0	41,6	38,6	35,7	33,2	31,1	29,0	27,2	25,4	23,6
1,9	51,4	47,7	44,2	41,0	38,0	35,4	33,0	30,8	28,8	27,0	25,2
1,95	54,2	50,4	46,8	43,4	40,3	37,6	35,0	32,6	30,5	28,6	26,8
2	57,0	53,1	49,3	45,8	42,6	39,8	36,9	34,4	32,2	30,2	28,3
2,1	62,1	58,4	54,4	50,6	47,1	44,2	41,4	38,7	36,2	34,0	31,8
2,2	67,6	64,0	60,4	55,5	51,6	48,7	45,8	43,0	44,3	37,7	35,2
2,3	-	-	64,0	60,2	56,6	53,1	50,1	47,1	44,2	41,4	38,8
2,4	-	-	-	64,6	60,7	57,5	54,4	51,3	48,2	45,1	42,3
2,5	-	-	-	-	64,8	61,3	58,2	55,0	51,8	48,7	45,8
2,6	-	-	-	-	-	65,2	61,9	58,6	55,4	52,2	49,4
2,7	-	-	-	-	-	-	65,4	62,0	58,8	55,6	52,6
2,8	-	-	-	-	-	-	-	65,6	62,3	59,1	55,9
2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	65,2	62,0	59,0

$c_u = 0,80 \dots 1,00$

u/\bar{u}	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
0,50	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,55	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
0,60	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
0,65	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
0,70	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7
0,75	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
0,80	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9
0,85	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
0,90	2,6	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
0,95	3,1	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8	1,8	1,6
1,00	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9
1,05	4,4	4,1	3,9	3,6	3,4	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,2
1,10	5,2	4,8	4,6	4,2	4,0	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
1,15	6,0	5,6	5,2	4,8	4,6	4,2	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0
1,20	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,4	4,1	3,8	3,6	3,4
1,25	7,7	7,2	6,8	6,3	5,8	5,4	5,1	4,8	4,4	4,2	3,9
1,30	8,7	8,2	7,6	7,1	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,7	4,4
1,35	9,7	9,1	8,4	7,9	7,4	7,0	6,5	6,0	5,6	5,2	4,9
1,40	10,7	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2	6,7	6,2	5,8	5,4
1,45	12,0	11,2	10,4	9,8	9,2	8,6	8,0	7,4	6,9	6,5	6,0
1,50	13,3	12,4	11,6	10,8	10,1	9,4	8,8	8,2	7,6	7,2	6,6
1,55	14,6	13,6	12,8	11,8	11,0	10,2	9,6	9,0	8,4	7,8	7,2
1,60	15,9	14,8	13,8	12,9	12,0	11,1	10,5	9,8	9,1	8,5	7,9
1,65	17,4	16,3	15,1	14,2	13,2	12,2	11,4	10,7	10,0	9,2	8,6
1,70	19,0	17,8	16,6	15,4	14,4	13,2	12,4	11,6	10,8	10,0	9,4
1,75	20,5	19,3	18,0	16,7	15,6	14,3	13,4	12,4	11,6	10,8	10,2

1,80	22,0	20,8	19,4	18,0	16,7	15,4	14,3	13,3	12,4	11,6	10,9
1,85	23,6	22,2	20,7	19,3	18,0	16,6	15,4	14,4	13,4	12,5	11,8
1,90	25,2	23,6	22,0	20,6	19,2	17,8	16,6	15,4	14,4	13,4	12,6
1,95	26,8	25,0	23,4	21,8	20,4	19,0	17,8	16,5	15,4	21,0	13,4
2,00	28,3	26,4	24,7	23,1	21,6	20,1	18,9	17,6	16,4	15,3	14,3
2,1	31,8	29,7	27,8	26,0	24,4	22,6	21,4	20,0	18,6	17,4	16,2
2,2	35,2	33,0	30,9	29,9	27,2	25,2	23,9	22,3	20,9	19,5	18,1
2,3	38,8	36,4	34,1	32,0	30,0	27,8	26,3	24,6	23,0	21,6	20,1
2,4	42,3	39,7	37,3	35,9	32,3	30,5	28,7	26,9	25,2	23,5	22,1
2,5	45,8	43,2	40,6	38,0	35,7	33,4	31,4	29,4	27,6	25,8	24,2
2,6	49,6	46,6	43,8	41,1	38,6	36,3	34,1	32,0	30,0	28,1	26,4
2,7	52,6	49,8	47,0	44,2	41,5	38,9	36,8	34,6	32,6	30,5	28,6
2,8	55,9	53,0	50,1	47,2	44,4	41,6	39,5	37,3	35,1	32,9	30,8
2,9	59,0	56,0	53,0	50,1	47,2	44,4	42,1	39,8	37,4	35,2	33,0
3,0	62,4	58,9	55,9	53,0	49,9	47,1	44,4	42,2	39,8	37,5	35,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

Доля (%) полной энергии ветра, утилизируемой ВЭУ в номинальном режиме
регулирования $u_{ном}^3 f(u \geq u_{ном}) / \bar{u}^3$
 $c_u = 0,40 \dots 0,60$

$u_{ном} / \bar{u}$	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
0,5	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,55	9,7	9,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,6	12,0	11,5	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-
0,65	14,8	14,1	13,4	12,7	-	-	-	-	-	-	-
0,7	17,4	16,5	15,7	14,9	14,0	-	-	-	-	-	-
0,75	20,5	19,4	18,4	17,4	16,5	15,5	-	-	-	-	-
0,8	23,2	22,0	20,9	19,8	18,7	17,6	16,6	-	-	-	-
0,85	25,9	24,6	23,3	22,2	21,0	19,8	18,7	17,4	-	-	-
0,9	28,4	27,0	25,7	24,4	23,1	21,9	20,7	19,5	18,5	-	-
0,95	30,7	29,2	27,9	26,5	25,2	23,9	22,7	21,4	20,3	19,0	-
1,0	32,5	31,1	29,7	28,4	27,0	25,7	24,4	23,1	22,0	20,6	19,4
1,05	34,0	32,6	31,3	30,0	28,6	27,3	26,1	24,7	23,6	22,2	20,9
1,1	34,9	33,7	32,5	31,3	30,0	28,7	27,5	26,1	25,0	23,6	22,3
1,12	35,2	34,1	32,9	31,8	30,5	29,3	28,1	26,8	25,6	24,3	23,0
1,15	35,3	34,3	33,3	32,2	31,1	29,9	28,7	27,4	26,3	24,9	23,6
1,2	35,1	34,4	33,6	32,8	31,8	30,7	29,6	28,4	27,4	26,1	24,8
1,25	34,5	34,1	33,6	33,0	32,2	31,3	30,4	29,3	28,3	27,1	25,9
1,3	33,3	33,4	33,2	32,8	32,3	31,6	30,8	29,9	29,0	27,9	26,8
1,35	31,8	32,2	32,4	32,3	32,1	31,6	31,0	30,3	29,5	28,5	27,5
1,4	29,8	30,7	31,2	31,4	31,5	31,3	30,9	30,4	29,8	29,0	28,1
1,45	27,6	28,9	29,7	30,3	30,7	30,8	30,7	30,3	29,9	29,2	28,5
1,5	25,2	26,8	28,1	29,0	29,6	30,0	30,2	30,1	29,8	29,4	28,7
1,55	22,6	24,5	26,1	27,3	28,3	29,0	29,4	29,5	29,5	29,2	28,8
1,6	20,0	22,2	24,0	25,5	26,8	27,7	28,4	28,8	29,0	29,0	28,7
1,65	17,4	19,8	21,9	23,7	25,2	26,4	27,3	28,0	28,4	28,6	28,5
1,7	15,0	17,5	19,7	21,7	23,5	25,0	26,1	27,1	27,6	28,1	28,2
1,75	12,7	15,2	17,5	19,7	21,6	23,3	24,7	25,9	26,7	27,3	27,7
1,8	10,6	13,1	15,5	17,8	19,9	21,7	23,3	24,7	25,7	26,6	27,1
1,85	8,6	11,1	13,4	15,8	18,0	20,0	21,8	23,4	24,5	25,6	26,4
1,9	7,0	9,3	11,6	14,0	16,2	18,4	20,3	22,1	23,4	24,7	25,6
1,95	5,5	7,7	9,9	12,2	14,5	16,7	18,7	20,6	22,1	23,6	24,7
2,0	4,3	6,3	8,3	10,6	12,9	15,1	17,2	19,3	20,8	22,5	23,8
2,1	2,5	4,0	5,7	7,7	9,9	12,1	14,2	16,5	18,2	20,2	21,8
2,2	1,4	2,4	3,8	5,4	7,3	9,4	11,5	13,8	15,6	17,8	19,6

2,3	0,7	1,4	2,4	3,7	5,3	7,1	9,1	11,3	13,2	15,4	17,4
2,4	0,3	0,8	1,4	2,4	3,7	5,3	7,0	9,1	10,9	13,2	15,2
2,5	0,1	0,4	0,8	1,5	2,5	3,8	5,3	7,2	8,9	11,1	13,2
2,6	-	0,2	0,6	0,9	1,6	2,6	3,9	5,6	7,1	9,2	11,2
2,7	-	-	0,2	0,5	1,1	1,8	2,8	4,2	5,6	7,5	9,5
2,8	-	-	0,1	0,3	0,6	1,2	2,0	3,2	4,4	6,1	7,9
2,9	-	-	-	0,2	0,4	0,8	1,4	2,3	3,3	4,8	6,5
3,0	-	-	-	0,1	0,2	0,5	0,9	1,7	2,5	3,8	5,3

$c_u = 0,60 \dots 0,80$

$u_{ном} / \bar{u}$	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
1,0	19,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,05	20,9	19,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1	22,3	21,0	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-
1,12	23,0	21,6	20,4	19,3	-	-	-	-	-	-	-
1,15	23,6	22,3	21,0	19,9	-	-	-	-	-	-	-
1,2	24,8	23,4	22,2	21,1	19,9	-	-	-	-	-	-
1,25	25,9	24,5	23,3	22,2	21,0	20,1	-	-	-	-	-
1,3	26,8	25,5	24,3	23,2	22,1	21,1	20,1	-	-	-	-
1,35	27,5	26,3	25,2	24,1	23,0	22,0	21,0	20,0	-	-	-
1,4	28,1	27,0	25,9	24,9	23,8	22,8	21,9	20,8	20,0	-	-
1,45	28,5	27,5	26,5	25,6	24,6	23,7	22,7	21,7	20,9	19,7	-
1,5	28,7	27,9	27,1	26,2	25,2	24,4	23,4	22,4	21,6	20,5	19,3
1,55	28,8	28,2	27,4	26,6	25,8	25,0	24,1	23,1	22,3	21,2	20,0
1,6	28,7	28,2	27,6	27,0	26,2	25,5	24,6	23,7	23,0	21,9	20,7
1,65	28,5	28,2	27,8	27,2	26,6	25,9	25,1	24,3	23,6	22,5	21,4
1,7	28,2	28,1	27,8	27,4	26,8	26,2	25,6	24,8	24,1	23,1	22,0
1,75	27,7	27,8	27,7	27,4	26,9	26,4	25,8	25,1	24,5	23,6	22,5
1,8	27,1	27,4	27,5	27,3	27,0	26,6	26,1	25,4	24,9	24,0	23,0
1,85	26,4	26,9	27,1	26,9	26,6	26,2	25,7	25,2	24,2	24,4	23,4
1,9	25,6	26,3	26,7	26,8	26,8	26,6	26,3	25,8	25,4	24,7	23,8
1,95	24,7	25,6	26,2	26,5	26,6	26,5	26,3	25,9	25,6	24,9	24,1
2,0	23,8	24,9	25,6	26,0	26,3	26,3	26,2	26,0	25,7	25,1	24,4
2,1	21,8	23,2	24,2	24,9	25,5	25,7	25,8	25,8	25,7	25,3	24,8
2,2	19,6	21,3	22,6	23,6	23,6	24,4	24,9	25,2	25,4	25,3	25,0
2,3	17,4	19,4	20,9	22,1	23,1	23,8	24,4	24,8	25,0	25,1	24,9
2,4	15,2	17,3	19,1	20,5	21,7	22,6	23,4	24,0	24,4	24,7	24,7
2,5	13,2	15,4	17,2	18,8	20,2	21,3	22,2	23,1	23,6	24,1	24,4
2,6	11,2	13,5	15,4	17,1	18,7	19,9	21,0	22,0	22,6	23,4	23,9
2,7	9,5	11,5	13,7	15,4	17,1	18,4	19,7	20,8	21,6	22,5	23,2
2,8	7,9	10,0	12,0	13,7	15,5	16,9	18,3	19,6	20,5	21,6	22,5
2,9	6,5	8,5	10,4	12,2	14,0	15,5	16,9	18,3	19,4	20,6	21,7
3,0	5,3	7,1	9,0	10,7	12,5	14,0	15,6	17,1	18,2	19,5	20,8

$c_u = 0,80 \dots 1,00$

$u_{ном} / \bar{u}$	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
1,5	19,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,55	20,0	19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,6	20,7	19,8	18,8	-	-	-	-	-	-	-	-
1,65	21,4	20,5	19,5	18,5	-	-	-	-	-	-	-
1,7	22,0	21,1	20,1	19,1	18,1	-	-	-	-	-	-
1,75	22,5	21,6	20,7	19,7	18,7	17,6	-	-	-	-	-
1,8	23,0	22,2	21,3	20,3	19,3	18,2	17,4	-	-	-	-
1,85	23,4	22,6	21,8	20,8	19,8	18,7	18,0	17,2	-	-	-
1,9	23,8	23,1	22,0	21,3	20,3	19,3	18,5	17,7	16,9	-	-
1,95	24,1	23,4	22,6	21,8	20,8	19,8	19,0	18,2	17,4	16,2	-
2,0	24,4	23,8	23,0	22,2	21,2	20,2	19,5	18,7	18,0	16,7	15,8

2,1	24,8	24,3	23,6	22,9	22,0	21,1	20,4	19,6	18,9	17,6	16,8
2,2	25,0	24,6	24,1	23,4	22,7	21,8	21,1	20,4	19,7	18,5	17,6
2,3	24,9	24,7	24,3	23,8	23,2	22,4	21,8	21,1	20,4	19,3	18,4
2,4	24,7	24,6	24,4	24,0	23,5	22,8	23,3	21,7	21,1	20,0	19,2
2,5	24,4	24,4	24,4	24,1	23,7	23,2	22,7	22,2	21,6	20,6	19,8
2,6	23,9	24,1	24,2	24,1	23,8	23,4	23,0	22,6	22,1	21,1	20,4
2,7	23,2	23,6	23,8	23,9	23,8	23,5	23,2	22,9	22,4	21,6	20,9
2,8	22,5	23,0	23,4	23,6	23,6	23,5	23,3	23,0	22,7	21,9	21,3
2,9	21,7	22,3	22,8	23,2	23,4	23,4	23,3	23,1	22,8	22,2	21,7
3,0	20,8	21,6	22,7	23,1	23,2	23,2	23,2	23,1	22,9	22,4	22,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рекомендуемое

Значения функции Вейбулла $\left[F(u \geq u_0) = e^{-\left(\frac{u_0}{\bar{u}}\right)^c}, \% \right]$ в зависимости от u_0/\bar{u} при
различных коэффициентах вариации
 $c_u = 0,40 \dots 0,60$

u_0/\bar{u}	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
0,3	97,3	96,8	96,2	95,5	94,9	94,2	93,4	92,6	91,9	91,1	90,2
0,35	95,9	95,2	94,5	93,7	92,8	92,0	91,1	90,2	89,4	88,5	87,4
0,4	94,2	93,3	92,4	91,5	90,5	89,6	88,5	87,5	86,6	85,4	84,4
0,45	92,1	91,0	90,0	89,9	87,8	86,7	85,7	84,5	83,5	82,3	81,2
0,5	89,6	88,4	87,2	86,1	84,9	83,7	82,6	81,3	80,3	79,1	77,9
0,55	86,8	85,4	84,2	82,9	81,7	80,4	79,3	78,0	77,0	75,7	74,6
0,6	83,5	82,1	80,8	79,5	78,2	77,0	75,8	74,5	73,5	72,2	71,1
0,65	79,9	78,5	77,2	75,8	74,6	73,3	72,2	70,9	69,9	68,7	67,6
0,7	76,0	74,6	73,3	72,0	70,8	69,6	68,4	67,3	66,3	65,2	64,2
0,75	71,8	70,4	69,2	68,0	66,8	65,7	64,6	63,6	62,7	61,5	60,6
0,8	67,3	66,1	65,0	63,8	62,8	61,8	60,8	59,8	59,0	58,0	57,2
0,85	62,7	61,6	60,4	59,6	58,7	57,8	57,0	56,1	55,4	54,5	53,8
0,9	58,0	57,1	56,2	55,4	54,6	53,9	53,2	52,4	51,8	51,1	50,4
0,95	53,2	52,5	51,8	51,2	50,6	50,0	49,4	48,8	48,3	47,7	47,2
1,0	48,3	47,9	47,5	47,0	46,6	46,2	45,7	45,3	44,9	44,4	44,0
1,05	43,6	43,4	43,2	42,9	42,7	42,4	42,2	41,9	41,6	41,3	41,0
1,1	38,9	39,0	39,0	38,9	38,8	38,7	38,6	38,4	38,2	38,2	38,0
1,15	34,5	34,8	35,0	35,2	35,3	35,4	35,4	35,4	35,4	35,3	35,2
1,20	30,2	30,8	31,2	31,5	31,8	32,1	32,2	32,4	32,4	32,5	32,5
1,25	26,3	27,0	27,6	28,1	28,6	28,9	29,2	29,5	29,7	29,8	30,0
1,30	22,6	23,5	24,2	24,9	25,5	26,0	26,4	26,8	27,0	27,4	27,6
1,35	19,2	20,2	21,1	21,9	22,6	23,2	23,7	24,2	24,6	25,0	25,3
1,4	16,2	17,3	18,3	19,2	20,0	20,6	21,2	21,8	22,3	22,7	23,4
1,45	13,5	14,7	15,7	16,6	17,5	18,3	19,0	19,6	20,1	20,6	21,1
1,5	11,1	12,3	13,4	14,4	15,3	16,1	16,8	17,6	18,1	18,7	19,2
1,55	9,0	10,2	11,3	12,3	14,1	14,9	15,7	16,2	16,9	17,5	17,5
1,6	7,3	8,4	9,5	10,5	11,4	12,3	13,1	13,9	14,5	15,2	15,8
1,65	5,8	6,9	7,9	8,9	9,8	10,7	11,5	12,3	13,0	13,7	14,3
1,7	4,5	5,5	6,5	7,4	8,4	9,2	10,1	10,9	11,5	12,3	12,9
1,75	3,5	4,4	5,3	6,2	7,1	8,0	8,8	9,6	10,2	11,0	11,7
1,8	2,7	3,5	4,3	5,1	6,0	6,8	7,6	8,4	9,0	9,8	10,5
1,85	2,0	2,7	3,4	4,2	5,0	5,8	6,5	7,3	8,0	8,7	9,4
1,9	1,5	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,4	7,0	7,7	8,4
1,95	1,1	1,6	2,2	2,8	3,5	4,1	4,8	5,5	6,1	6,8	7,5
2,0	0,8	1,2	1,7	2,2	2,8	3,5	4,1	4,8	5,4	6,0	6,7
2,1	0,4	0,7	1,0	1,4	1,9	2,3	2,9	3,5	4,0	4,7	5,3
2,2	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,6	2,1	2,6	3,0	3,6	4,1

2,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,9	2,2	2,7	3,2
2,4	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5
2,5	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9

$c_u = 0,60 \dots 0,80$

u_0 / \bar{u}	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
0,3	90,2	89,2	88,3	87,5	86,7	86,0	85,2	84,4	83,7	82,8	81,9
0,35	87,4	86,3	85,3	84,5	83,5	82,8	81,9	81,0	80,4	79,4	78,4
0,4	84,4	83,2	82,2	81,3	80,3	79,5	78,3	77,7	77,0	76,0	75,0
0,45	81,2	80,0	78,9	78,0	77,0	76,1	75,3	74,4	73,6	72,7	71,6
0,5	77,9	76,7	75,6	74,3	73,6	72,8	71,9	71,0	70,3	69,3	68,3
0,55	74,6	73,3	72,2	71,3	70,3	69,4	68,6	67,7	67,0	66,1	65,1
0,6	71,1	69,9	68,8	67,9	66,9	66,1	65,3	64,4	63,8	62,9	61,9
0,65	67,7	66,5	65,4	64,5	63,6	62,8	62,0	61,2	60,6	59,7	58,8
0,7	64,2	63,0	62,0	61,2	60,3	59,6	58,9	58,1	57,5	56,7	55,9
0,75	60,6	59,6	58,7	57,9	57,1	56,4	55,8	55,1	54,5	53,8	53,0
0,8	57,2	56,2	55,4	54,7	54,0	53,4	52,8	52,1	51,6	50,9	50,2
0,85	53,8	52,9	52,2	51,6	50,9	50,4	49,8	49,2	48,8	48,2	47,6
0,9	50,4	49,7	49,1	48,5	48,0	47,5	47,0	46,5	46,1	45,6	45,0
0,95	47,2	46,6	46,0	45,6	45,1	44,7	44,3	43,8	43,5	43,0	42,5
1,0	44,0	43,5	43,1	42,7	42,3	42,0	41,6	41,3	41,0	40,6	40,2
1,05	41,0	40,6	40,3	40,0	39,7	39,4	39,1	38,8	38,6	38,2	37,9
1,1	38,0	37,8	37,6	37,4	37,1	36,9	36,7	36,5	36,3	36,0	35,7
1,15	35,2	35,1	35,0	34,8	34,7	34,6	34,4	34,2	34,1	33,9	33,7
1,20	32,5	32,5	32,4	32,4	32,4	32,3	32,2	32,1	32,0	31,9	31,7
1,25	30,0	30,1	30,1	30,2	30,2	30,2	30,1	30,1	30,0	30,0	30,0
1,30	27,6	27,7	27,9	28,0	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1
1,35	25,3	25,6	25,8	25,9	26,1	26,2	26,2	26,2	26,3	26,4	26,4
1,4	23,4	23,5	23,8	24,0	24,2	24,3	24,5	24,6	24,7	24,7	24,8
1,45	21,1	21,5	21,9	22,2	22,4	22,6	22,8	22,9	23,0	23,2	23,3
1,5	19,2	19,7	20,1	20,4	20,7	21,0	21,2	21,4	21,5	21,7	21,8
1,55	17,5	18,0	18,5	18,8	19,2	19,4	19,7	19,9	20,1	20,3	20,5
1,6	15,8	16,4	16,9	17,3	17,7	18,0	18,0	18,3	18,5	18,7	19,2
1,65	14,3	15,0	15,5	15,9	16,3	15,6	17,0	17,2	17,5	17,7	18,0
1,7	12,9	13,6	14,1	14,6	15,0	15,4	15,7	16,0	16,3	16,6	16,9
1,75	11,7	12,3	12,9	13,4	13,8	14,2	14,5	14,9	15,1	15,5	15,8
1,8	10,5	11,2	11,7	12,2	12,7	13,1	13,4	13,8	14,1	14,4	14,8
1,85	9,4	10,1	10,7	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,1	13,4	13,8
1,90	8,4	9,1	9,7	10,2	10,7	11,1	11,5	11,9	12,2	12,5	12,9
1,95	7,5	8,1	8,8	9,3	9,8	10,2	10,6	11,1	11,3	11,7	12,0
2,0	6,7	7,4	7,9	8,4	8,9	9,3	9,8	10,2	10,5	10,9	11,2
2,1	5,3	5,9	6,5	7,0	7,4	7,8	8,3	8,7	9,0	9,4	9,8
2,2	4,1	4,7	5,2	5,7	6,2	6,6	7,0	7,4	7,7	8,1	8,5
2,3	3,2	3,7	4,2	4,7	5,1	5,5	5,9	6,3	6,6	7,0	7,4
2,4	2,5	2,9	3,4	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6	6,0	6,4
2,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1	5,5

$c_u = 0,80 \dots 1,00$

u_0 / \bar{u}	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
0,3	81,9	81,1	80,3	79,2	78,6	77,8	77,1	76,5	75,8	74,8	74,1
0,35	78,4	77,6	76,8	76,0	75,1	74,2	73,5	72,9	72,2	71,2	70,5
0,4	75,0	74,2	73,4	72,5	71,6	70,7	70,1	69,4	68,8	67,7	67,0
0,45	71,6	70,8	70,0	69,2	68,3	67,4	66,8	66,1	65,5	64,5	63,8
0,5	68,3	67,5	66,7	65,9	65,0	64,2	63,5	62,9	62,3	61,3	60,6
0,55	65,1	64,2	63,5	62,7	61,9	61,0	60,5	59,9	59,3	58,3	57,7
0,6	61,9	60,7	60,4	59,7	58,9	58,1	57,5	57,0	56,4	55,4	54,9
0,65	58,8	58,2	57,5	56,7	56,0	55,2	54,7	54,2	53,6	52,8	52,2

0,7	55,9	55,2	54,6	53,9	53,2	52,5	52,0	51,2	51,0	50,2	49,6
0,75	53,0	52,4	51,8	51,2	50,5	49,8	49,4	48,9	48,1	47,7	47,2
0,8	50,2	49,7	49,1	48,5	48,0	47,3	46,9	46,5	46,1	45,4	44,9
0,85	47,6	47,0	46,6	46,0	45,5	44,9	44,6	44,2	43,8	43,2	42,7
0,9	45,0	44,5	44,1	43,6	43,2	42,6	42,3	42,0	41,6	41,0	40,6
0,95	42,5	42,1	41,7	41,3	40,9	40,4	40,1	39,8	39,5	39,0	38,7
1,0	40,2	39,8	39,5	39,1	38,8	38,4	38,1	37,8	37,5	37,1	36,8
1,05	37,9	37,6	37,3	37,0	36,7	36,4	36,1	35,9	35,6	35,3	35,0
1,10	35,7	35,5	35,3	35,0	34,8	34,5	34,3	34,1	33,9	33,5	33,3
1,15	33,7	33,5	33,3	33,1	32,9	32,9	32,7	32,3	31,2	31,9	31,7
1,20	31,7	31,6	31,5	31,3	31,1	31,0	30,8	30,7	30,5	30,3	30,1
1,25	30,0	29,8	29,7	29,6	29,4	29,3	29,2	29,2	29,1	28,8	28,6
1,30	28,1	28,0	28,0	27,9	27,8	27,8	27,7	27,6	27,5	27,4	27,2
1,35	26,4	26,4	26,4	26,4	26,3	26,3	26,2	26,2	26,1	26,0	25,9
1,40	24,8	24,8	24,9	24,9	24,9	24,9	24,8	24,8	24,8	24,7	24,5
1,45	23,3	23,4	23,4	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
1,50	21,8	22,0	22,1	22,0	22,2	22,2	22,5	22,3	22,3	22,3	22,3
1,55	20,5	20,6	20,8	20,9	21,0	21,0	21,1	21,1	21,2	21,2	21,2
1,60	19,2	19,4	19,5	19,7	19,8	19,9	20,0	20,0	20,1	20,2	20,2
1,65	18,0	18,2	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,2	19,2
1,70	16,9	17,1	17,3	17,4	17,6	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2	18,3
1,75	15,8	16,0	16,2	16,4	16,6	16,8	16,9	17,0	17,1	17,3	17,4
1,80	14,8	15,0	15,2	15,5	15,7	15,9	16,0	16,1	16,3	16,4	16,5
1,85	13,8	14,1	14,3	14,6	14,8	15,0	15,2	15,3	15,4	15,6	15,7
1,90	12,9	13,2	13,4	13,7	13,9	14,2	14,3	14,5	14,6	14,8	15,0
1,95	12,0	12,3	12,6	12,9	13,1	13,4	13,6	13,7	13,9	14,1	14,2
2,00	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,8	13,0	13,2	13,4	13,5
2,1	9,8	10,1	10,4	10,7	11,0	11,3	11,5	11,6	11,8	12,1	12,2
2,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,0	10,2	10,4	10,6	10,9	11,1
2,3	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	8,9	9,1	9,3	9,5	9,8	10,0
2,4	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	8,0	8,2	8,4	8,6	8,9	9,1
2,5	5,5	5,8	6,1	6,4	6,8	7,1	7,3	7,5	7,7	8,0	8,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Рекомендуемое

Средняя непрерывная длительность скоростей ветра \bar{t}_p , ч (ежечасная дискретность наблюдений) в зависимости от $F(u \geq u_0)$ при различных скоростях ветра $c_u = 2,0 \dots 5,5$ м/с

$F(u \geq u_0)$ %	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
5	1,6	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8
10	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4
15	2,8	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0
20	3,3	3,5	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5
25	3,8	4,2	4,5	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1
30	4,3	4,3	5,0	5,3	5,6	5,9	6,2	6,5
35	4,7	5,0	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9
40	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3
45	5,3	5,6	6,0	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6
50	5,5	5,9	6,3	6,6	7,0	7,4	7,7	8,0
55	5,9	6,2	6,6	7,0	7,3	7,6	8,0	8,4
60	6,4	6,8	7,3	7,7	8,1	8,5	8,9	9,2
62	6,8	7,2	7,7	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8
64	7,3	7,8	8,2	8,6	9,1	9,5	9,9	10,2
66	8,0	8,4	8,9	9,4	9,8	10,2	10,6	11,0
68	8,7	9,2	9,6	10,0	10,5	10,9	11,3	11,6
70	9,6	10,0	10,5	10,9	11,3	11,7	12,1	12,4
72	10,8	11,2	11,7	12,1	12,5	12,9	13,3	13,8

74	12,0	12,5	13,0	13,4	13,9	14,3	14,7	15,0
76	13,4	13,8	14,3	14,7	15,1	15,5	15,9	16,2
78	14,6	15,0	15,5	16,0	16,4	16,8	17,2	17,6
80	15,8	16,2	16,7	17,2	17,6	18,0	18,4	18,8
82	17,1	17,6	18,0	18,4	18,9	19,3	19,7	20,1
84	18,5	19,0	19,4	19,8	20,3	20,7	21,1	21,4
86	19,8	20,2	20,7	21,2	21,6	22,0	22,4	22,8
88	21,1	21,6	22,0	22,4	22,8	23,2	23,6	24,0
90	22,3	22,8	23,2	23,6	24,1	24,5	24,9	25,2
92	24,3	24,8	25,2	25,6	26,0	26,4	26,7	27,0
94	26,4	27,0	27,5	28,0	28,4	28,8	29,2	29,5

$$\bar{u} = 6,0 \dots 10,0$$

$F(u \geq u_0) \%$	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
5	4,1	4,4	4,6	4,8	5,1	5,4	5,6	5,8	6,1
10	4,7	5,0	5,3	5,6	5,8	6,0	6,3	6,6	6,8
15	5,3	5,6	5,9	6,2	6,4	6,6	6,9	7,2	7,4
20	5,8	6,1	6,4	6,6	6,9	7,2	7,4	7,6	7,9
25	6,4	6,6	6,9	7,2	7,4	7,6	7,9	8,2	8,4
30	6,8	7,1	7,4	7,6	7,9	8,2	8,4	8,6	8,9
35	7,2	7,5	7,8	8,0	8,3	8,6	8,8	9,0	9,3
40	7,6	7,9	8,2	8,4	8,7	9,0	9,2	9,4	9,7
45	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,0	10,2
50	8,4	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,4	10,7
55	8,7	9,0	9,4	9,8	10,1	10,4	10,8	11,1	11,4
60	9,6	10,0	10,3	10,6	11,0	11,4	11,7	12,0	12,3
62	10,1	10,4	10,8	11,1	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6
64	10,6	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1
66	11,3	11,6	12,0	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	13,8
68	12,0	12,4	12,7	13,0	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6
70	12,8	13,2	13,5	13,8	14,2	14,5	14,8	15,1	15,4
72	14,0	14,4	14,7	15,0	15,4	15,8	16,1	16,4	16,7
74	15,4	15,8	16,1	16,4	16,8	17,1	17,4	17,7	18,0
76	16,6	17,0	17,3	17,6	18,0	18,3	18,6	18,9	19,2
78	17,9	18,2	18,6	19,0	19,3	19,6	19,9	20,2	20,5
80	19,1	19,4	19,8	20,2	20,5	20,8	21,1	21,4	21,7
82	20,5	20,8	21,2	21,5	21,8	22,1	22,4	22,7	23,0
84	21,8	22,2	22,5	22,8	23,2	23,5	23,8	24,1	24,4
86	23,2	23,6	23,9	24,2	24,5	24,8	25,1	25,4	25,7
88	24,4	24,8	25,1	25,4	25,8	26,1	26,4	26,7	27,0
90	25,6	26,0	26,3	26,6	27,0	27,3	27,6	27,9	28,2
92	27,4	27,8	28,1	28,4	28,8	29,0	29,2	29,4	29,6
94	29,8	30,0	30,3	30,6	30,8	31,0	31,2	31,4	31,6

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Справочное

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 80 с.
2. Борисенко М.М., Корнюшин О.Г., Соколова С.Н. Исследование климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов: Обзорная информация. Серия 37.21. Метеорология. 1987. Вып.4. 51 с.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.3. Ч.1. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 307 с.
4. Алисов Б.П., Дроздов О.А., Рубинштейн Е.С. Курс климатологии. Ч.II. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 486 с.

5. Чанышева С.Г. Местные ветры Средней Азии. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 120 с.
6. Методические указания по производству микроклиматических обследований в период изысканий. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 66 с.
7. Наставление ГМС и поста. Вып.4. Ч.1. М.: Гидрометеоздат, 1963. 147 с.
8. Аэрология. Ч.1: Методы аэрологических измерений. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 517 с.
9. Дробышев А.Д., Курьгина Л.И. Восстановление статистических характеристик скорости ветра в 500-метровом слое атмосферы//Тр. ЗапСибНИИ Госкомгидромета. 1987. Вып.80. С.11-21.
10. Новый аэроклиматический справочник пограничного слоя атмосферы над СССР. Т.2: Статистические характеристики ветра. Книги 1-10. М.: Гидрометеоздат, 1986.
11. Справочник по климату СССР. Ч.III: Ветер. Л.: Гидрометеоздат, 1966-1969.
12. Дробышев А.Д. Косвенные способы расчета режимных характеристик скорости ветра и ее непрерывной продолжительности//Тр. ЗапСибНИИ Госкомгидромета. 1984. Вып.66. С.59-74.
13. Милевский В.Ю. Методика исследования скоростных роз и скоростей ветровых роз - диаграмм ветра//Тр. ГГО. Вып.113. Л.: Гидрометеоздат, 1960. С.57-70.