МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему «Исследование ветрового режима для целей электроэнергетики Узбекистана»

Исполнитель Акбаров Хасанбек Бахтиёр угли
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к. физ-мат. н., доцент
(ученая степень, ученое звание)
Кашлева Лариса Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географический наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

«09» 06 2019.

Санкт–Петербург
2019

Содержание

Сокращения 4
Введение 5
1. Общие сведения о ветроэнергетике 7
1.1 Ветровой поток как ресурс ветроэнергетики 7
1.2 Технические особенности ветроэнергетических установок 11
1.2.1. Конструкция ветроэнергетических установок 13
1.2.2. Устройство ветроэлектрической установки 17
1.2.3 Диапазон размеров ветроэлектрических установок 18
1.2.4 Автономные системы энергоснабжения 19
1.3. Влияние метеорологических факторов на размещение ВЭУ. 19
2. Ветровой режим Узбекистана 22
2.1 Физико – географические особенности Узбекистана. 22
2.1.1 Общее описание 22
2.1.2 Особенности рельефа 23
2.2 Климат Узбекистана 28
2.2.1 Общее описание 28
2.2.2 Факторы, влияющие на формирование климата 29
2.2.3 Климатические особенности 30
3. Методы расчета ветроэнергетических ресурсов 39
3.1 Средняя многолетняя скорость ветра 39
3.2 Расчет скорости ветра редкой повторяемости 40
3.3 Вертикальные профили скорости ветра 43
3.4 Методы оценки удельной мощности ветрового потока. 44
3.5 Оценка эксплуатационных показателей ВЭУ при известных характеристик режима ветра. 48
3.6 Косвенный метод расчета непрерывной продолжительности скорости ветра выше заданного значения и энергетических «затиший». 50
4. Оценка эффективности предприятий ветроэнергетики в Узбекистане 54
4.1 Функции распределения скорости ветра 54
4.2 Ветроэнергетический потенциал 57
Заключение 59
Список использованных источников 62

ПРИЛОЖЕНИЕ А 64
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 65
ПРИЛОЖЕНИЕ В 66
ПРИЛОЖЕНИЕ Г 67
ПРИЛОЖЕНИЕ Д 68
ПРИЛОЖЕНИЕ Е 69
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж 70

Сокращения

ВЭУ	Ветроэнергетические установки
ВИЭ	Возобновляемые источники энергии
ВЭС	Ветроэнергетические станции
АБ	Аккумуляторные батареи
ВК	Ветроколесо
КПД	Коэффициент полезного действия

Введение

Вся современная экономика находится в зависимости от богатств, недр: нефти, газа, угля и иных видов ископаемого топлива. Узбекистан также не является исключением. Проблема ископаемого топлива в том, что они не восстанавливаются и его использование ведет к засорению окружающей среды: так, эмиссия диоксида углерода ведет к глобальному потеплению, а диоксид серы вызывает кислотные дожди.

Для решения этих проблем целесообразно переходить на экологически чистые и возобновляемые источники энергии. Такие как: солнечная радиация, энергия ветра, энергия рек, приливов и океанических волн, энергия, заключенная в биомассе и органических отходах.

Ветроэнергетические установки могут быть применены для разных целей, начиная от заряда аккумуляторных батарей и энергоснабжения различных объектов (зданий, фермы и пр.) до подачи электроэнергии в сети централизованного электроснабжения.

Внедрение возобновляемого источника энергии наиболее привлекательно, так как оно никак не нарушает природного равновесия энергии, получаемой нашей планетой. Поэтому актуальным является исследование с целью проведения оценки эффективности внедрения ветроэнергетических установок в исследуемые регионы.

Целью данной дипломной работы является оценка возможности применения ветровой энергии в Узбекистане.

Для этого необходимо ознакомимся

1. С общими сведеньями о ветроэнергетике, с техническими особенностями, влиянием ветроэнергетических установок на окружающую среду, взаимосвязи ВЭУ и метеорологических параметров.

2. С географическими и климатическими особенностями Узбекистана, а в частности, с особенностями рельефа и ветрового режима.

3. Ознакомится с основными методами оценки климатических характеристик для наиболее рационального размещения и проектирования ветроэнергетических установок.

4. Провести оценку эксплуатационных показателей ветроэнергетических установок при характеристик режима ветра в Узбекистане.

Структура работы. Работа состоит из введения, 4 глав и заключения.

Во введении сформулированы основные цели и задачи исследований.

В первой главе рассмотрены, общие сведения о ветроэнергетики, технические особенности, взаимодействия метеорологических факторов и ветроэнергетических установок.

Во второй главе рассмотрены физико-географическое положение Узбекистана, особенности рельефа, климат и ветровой режим.

В третий главе были рассмотрены основные методы и указания для расчета основных климатических характеристик.

В четвертой главе можно, ознакомится с результатами расчетов и их анализом.

В заключении приведены доводы и сделаны основные выводы исходя из расчетов.

1. Общие сведения о ветроэнергетике

1.1 Ветровой поток как ресурс ветроэнергетики

В глобальном масштабе поток – это движение воздушных масс относительно земли, которое происходит в атмосфере под действием перепадов давления в различных областях. Для использования энергии ветрового потока, то есть массовую энергию воздуха плотностью ρ, кг/м3, имеющий скоростьV, м/с:

$$P_У = \frac{m \cdot V^2}{2}$$

Зная, что масса 1 м^3 воздушного потока, имеющего плотность ρ кг/м^3 текущего со скоростью V м/с составляет тогда $\rho \cdot V$:

$$P_У = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3$$

Так помня, что плотность воздуха ρ при нормальных условиях 1,225 кг/м^3 ветровой поток, имеющий скорость 4 м/с и проходящий через поперечное сечение, площадью 1 м^2 обладает энергией 40 Вт.

Подробнее остановимся на скорости ветра V. Из формулы видно, насколько сильно значение скорости ветрового потока влияет на мощность (3–я степень). На практике это означает, что погрешность в скорости ветра на 10% повлечет за собой погрешность в мощности 30% и, следовательно, в производстве энергии. Также добавим непостоянность ветра. Таким образом, принципиально понимать, что для того, чтобы надежно оценить потенциал для введения ветроэнергетики в том или ином месте. Под «местом» здесь можно понимать довольно большие площади (иногда целые регионы). И если владеть данными о ветровом режиме, полученные на метеостанции, расположенного в нескольких десятках км от площадки, эти данные можно полагать репрезентативными, то есть надежными для данного места.

Если одной особенностью ветрового потока, которая затрудняет определение достоверного значения скорости, считается его постоянный и случайный характер. Строго говоря, нет никакого способа точно предсказать, каким будет значение скорости ветрового потока через определенное количество секунд. Поэтому в ветроэнергетике принято считать, что скорость ветрового потока состоит из двух компонентов – усредненной и пульсационной. Если в расчетах энергии ветра скорость потока ветра составляет V=4м/с, на практике это означит, что настоящая скорость потока ветра в любой момент времени будет колебаться вокруг определенного значения, близкого к 4 м/с.

И, наконец, если говорить о скорости ветрового потока и месте, следует отметить, что на значение скорости V будет оказывать значительное влияние местные условия, такие как рельеф местности, препятствия и «шероховатость» поверхности (рис. 1.1).

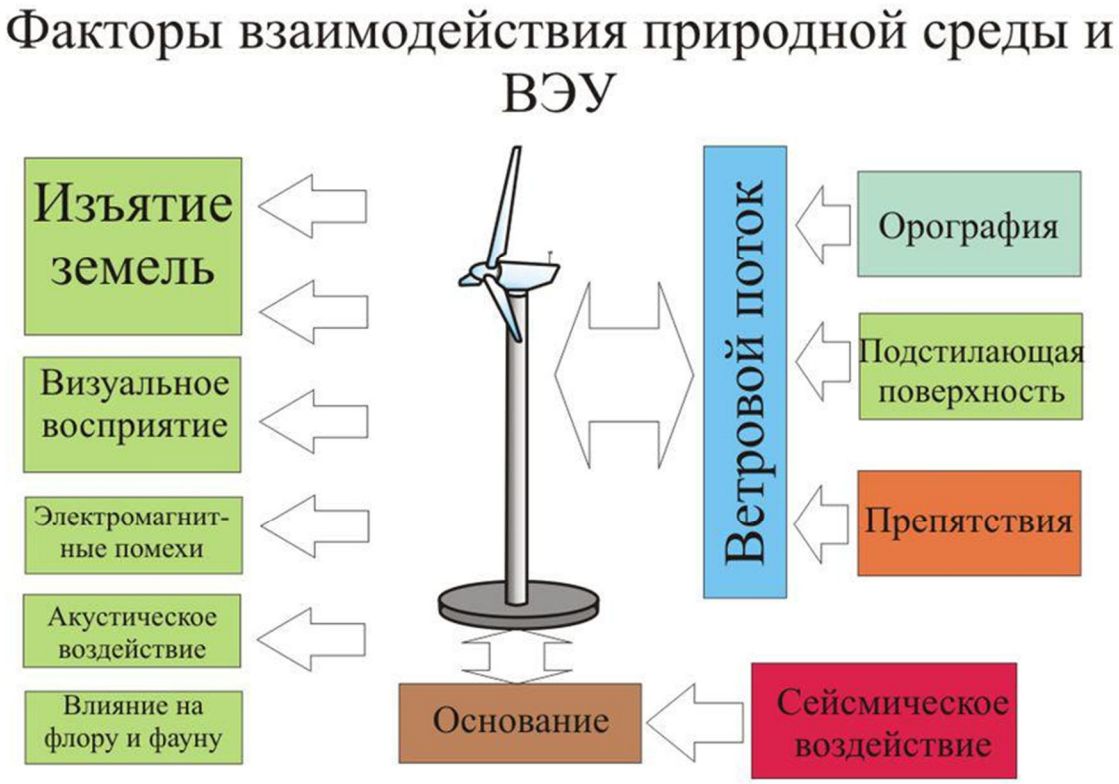

Рис. 1.1 – факторы взаимодействия природной среды и ВЭУ

Рассматривая поток ветра в поверхностном слое (до 200 м над землей) в качестве источника энергии ветра, необходимо учитывать, что данные с ближайшей метеостанции должны быть применяться в соответствии с местными условиями (рис. 1.2).

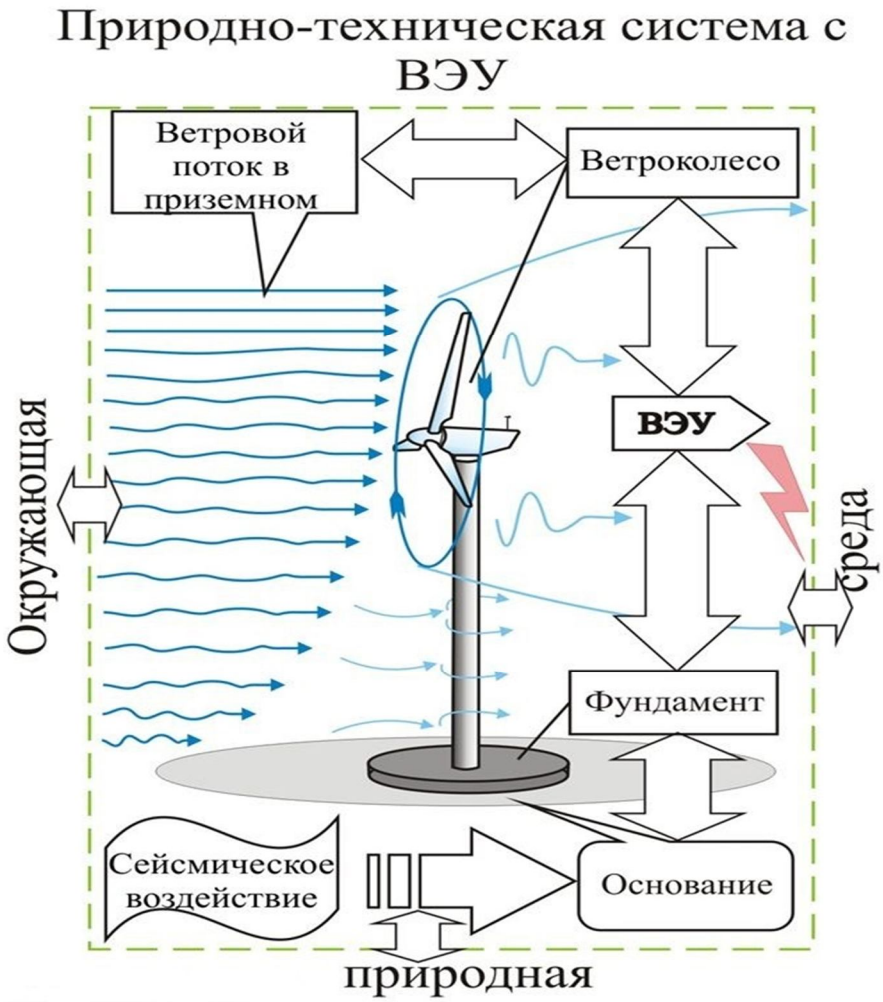

Рис. 1.2 Природно-техническая система и ВЭУ

Несмотря на описанные выше трудности с надежным определением основного ресурса энергии ветра– скорости ветрового потока V, мировая ветроэнергетика увеличила свою мощность в несколько раз за последние 10 лет.

В качестве исходной информации о значениях скорости ветра уже давно нет необходимости проводить долгосрочные наблюдения за скоростью ветра. Для всех больших регионов вероятностные

характеристики давно построены с высокой степенью точности, показывающими вероятность наличия того или иного значения скорости ветрового потока. В мировой практике для этих целей используется двухпараметрическая зависимость Вейбулла.

То есть значение скорости потока ветра V будет сопровождаться вероятностью ее присутствия f(V) а приведенная выше формула определения удельной мощности потока ветра имеет вид:

$$P_Y = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \int_0^{\infty} V^3 \cdot f(V) dV$$

где P_Y – удельная мощность ветрового потока.

Ветроэнергетические станции (ВЭС) имеют принципиально иной спектр воздействия на окружающую среду, нежели классические электростанции. Для производства электроэнергии в промышленных масштабах необходимо занимать большие площади – из расчета примерно 400 м^2 на 1 кВт мощности. Это связано с тем, что для нормальной работы всех ветроэнергетической установки в составе ветроэнергетических станций необходимо соблюсти определенное расстояние как меж самими ВЭУ (5÷15 диаметров ветроколеса в зависимости от направленности розы ветров) и между ВЭУ и большими местными барьерами. Однако надлежит подметить, что конкретно перед ВЭУ как частью места ВЭС необходимо исходя из размеров подъездных дорог и размера фундамента в плане, т.е. не так много, как и районы, конкретно прилегающие к ВЭУ можно использовать, к примеру, для животноводства (выпас скота) либо растениеводства.

Самой основной предпосылкой функционального подъема мирового интереса к возобновляемым источникам энергии, в целом, и к ветроэнергетике в частности является стремление частично и постепенного замещения мощностей классической энергетики, основанной на сжигании углеводородов.

1.2 Технические особенности ветроэнергетических установок

В настоящее время существует множество различных типов ветроэнергетических установок. Ветроустановки с крыльчатыми колесами с горизонтальной осью вращения имеют широкое распространение (рис. 1.6). Наибольшее развитие получили двух и трехлопастные ветроколеса. Вращающий момент ветроколеса формируется подъемной силой, которая возникает при аэродинамическом обтекании поверхности лопастей воздушным потоком. В итоге кинетическая энергия воздушного потока в области, ометаемой лопастями, преобразуется в механическую энергию вращения ветроколеса.

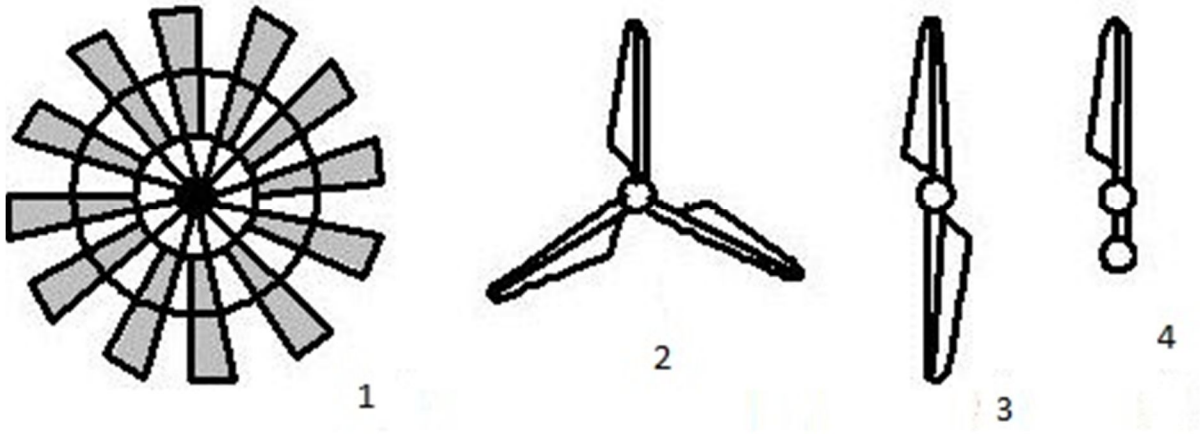

Рис. 1.3 Ветроколеса крыльчатых ветроустановок: 1 – многолопастное, 2 – трехлопастное, 4 – однолопастное с противовесом.

Мощность, развиваемая на оси ветроколеса, пропорциональна квадрату его диаметра и кубу скорости ветра. Согласно классической теории Н.Е. Жуковского для идеального ветроколеса коэффициент использования энергии ветра =0,593. То есть идеальное ветроколесо (с бесконечным числом лопастей) может извлечь 59,3% энергии, проходящей через его поперечное сечение. В действительности на практике у лучших высокоскоростных колес максимальное значение коэффициента использования энергии ветра достигает до 0,45 – 0,48, а для тихоходных колес – до 0,36 – 0,38.

Важной характеристикой ветроколеса является его быстроходность Z, представляющая собой отношение скорости движения конца лопасти к скорости потока ветра. Конец лопасти обычно движется в плоскости ветроколеса со скоростью, в несколько раз превышающий скорости ветра. Оптимальные значения быстроходности двухлопастного колеса – 5–7, для трехлопастного колеса – 4 – 5 и для шестилопастного колеса – 2,5 – 3,5.

Из конструктивных характеристик ветроколеса главное воздействие на мощность оказывает его диаметр, а также форма и профиль лопастей. Мощность мало зависит от количества лопастей. Частота вращения ветроколеса пропорциональна диаметру. На величину мощности воздействует ещё и высота расположения центра колеса, так как скорость ветра зависит от высоты.

Мощность ВЭУ пропорциональна скорости ветра в третей степени. При расчетной скорости ветра и выше ВЭУ работает с номинальной мощностью. При скоростях ветра ниже номинальной мощности ветроустановки может составлять 20 – 30% от номинальной и менее. В таких условиях эксплуатации в генераторах происходят большие потери энергии из-за их низкого КПД при малых нагрузках, а в асинхронных генераторах появляются, кроме того, большие реактивные токи, которые необходимо компенсировать.

Чтобы устранить этот недостаток, в некоторых ВЭУ используют 2 генератора с номинальной мощностью 100 и 20 – 30% от номинальной мощности ВЭУ. При слабом ветре первый генератор выключается. В некоторых ВЭУ небольшой генератор также обеспечивает возможность работы установки при небольших скоростях ветра при малых оборотах с высоким значением коэффициента использования энергии ветра.

Установка ветроколеса на ветер, т.е. перпендикулярно к течению ветра, производится в агрегатах очень малой мощности с помощью хвоста (хвостового оперения). В агрегатах малой и средней мощности – с

помощью механизма виндроз, а в передовых крупных установках – с помощью особой системы ориентации, которая получает управляющий импульс от датчика направления ветра (флюгера), установленного в верхней части гондолы ветроустановки. Механизм виндроз состоит из одного или двух небольших ветроколес, плоскость вращения которых перпендикулярна к плоскости вращения главного колеса, работающих на привод червяка, который поворачивает платформу головки ветродвигателя до тех пор, пока виндрозы не окажутся в плоскости параллельно потоку ветра.

Крыльчатое ветроколесо с горизонтальной осью вращения может располагаться перед башней и за ней. В крайнем случае лопасть подвергается постоянному многократному воздействию переменных сил при прохождении в тени башни, что одновременно существенно увеличивает уровень шума. Ряд способов используется для регулирования мощности и ограничения скорости вращения ветроколеса, включая вращение лопастей или их частей вокруг продольной оси, а также закрылки, клапаны на лопастях и остальные методы.

Главными преимуществами ветроустановок с горизонтальной осью вращения ветроколеса заключается в том, что условия обтекания лопастей воздушным потоком постоянны, они не меняются при вращении ветроколеса, а определяются только скоростью ветра. Благодаря данному, а также относительно высокому значению коэффициента использования энергии ветра, ВЭУ крыльчатого типа в настоящее время являются наиболее распространенными.

1.2.1. Конструкция ветроэнергетических установок

Классификация конструкций ветроколеса:

1. Использующие подъемную силу;

2. Использующие силу сопротивления.

К ВЭУ, использующие силу сопротивление X, можно отнести, например парус. ВЭУ использующие подъемную силу Y преобладают в мировой ветроэнергетике, так как могут развивать линейную скорость конца лопасти (совпадает с направлением действия подъемной силы Y) значительно больше скорости ветрового потока V

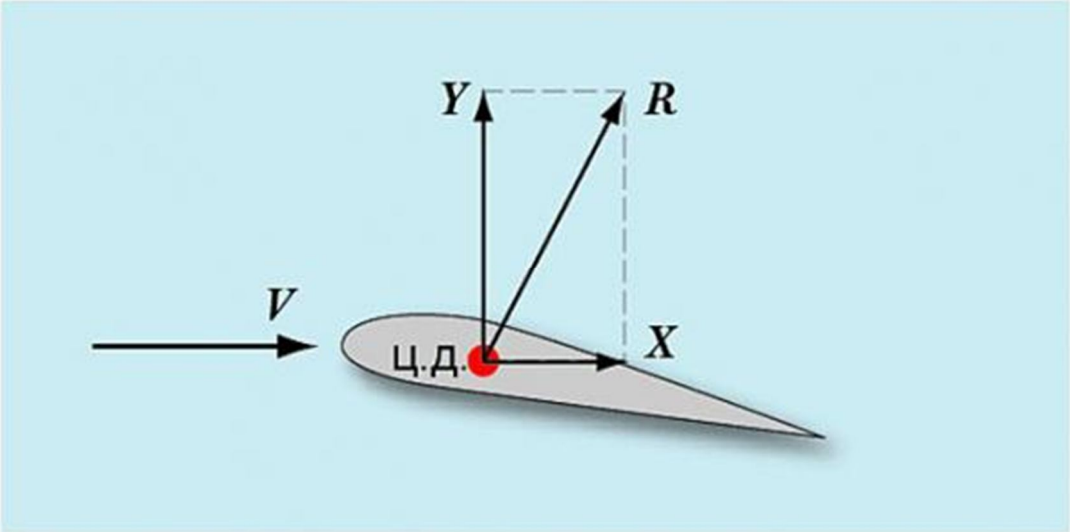

Рис. 1.4 Прямоугольник аэродинамических сил действующих на крыло.

Их, в свою очередь можно классифицировать по:

1. Ориентации оси вращения ветроколеса;
2. Положению ветроколеса относительно всей конструкции.

Различают ВЭС с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

Вертикально осевые ВЭУ имеют ряд преимуществ, основным из которых является отсутствие необходимости направлять ветроколеса на ветер. Однако у этих установок имеются существенные минусы: необходим начальный момент встряхивания (стартовое внешнее усилие для раскрутки ветроколеса), отсутствие возможности использования ветрового потока верхних слоев (до 100 м), комплекс сложных силовых проблем. Из-за этого вертикальноосевые ВЭУ уступают в мировой

ветроэнергетике горизонтальноосевым ВЭУ башенного типа в соотношении 98 к 2.

Для дальнейшего понимания ВЭУ введем два наиболее выжных параметра, связанных с конструкцией ветроколеса: коэффициент использования мощности и быстроходность ветроколеса (коэффициент быстроходности).

Коэффициент использования мощности иногда называют критерием Жуковского – Бетца по имени двух ученных, которые теоретически обосновали его предельное (идеальное) значение 0,593. Коэффициент использования мощности часто ошибочно сравнивают с КПД ветроколеса. Это сравнение является ошибочным по той простой причине, что ветроколеса, в отличие например, от рабочего колеса паровой турбины использует далеко не весь поток ветра, приходящийся на его площадь. Часть ветрового потока обтекает ветроколесо, а в паровой турбине пару просто некуда деться. Поэтому, говоря о паровой турбине, мы имеем дело с КПД, а в случае ветроколеса – коэффициент использования мощности. Таким образом, введя понятие коэффициента использования мощности ветроколеса ξ, можем рассчитать мощность любой ВЭУ по формуле:

$$P_{\text{ВЭУ}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S \cdot \xi$$

Где ξ – коэффициент использования мощности, S – так называемая ометаемая площадь ветроколеса (для горизонтальноосевых ВЭУ $-\pi \cdot R^2$).

Максимальное значение ξ составляет 0,593 для идеального ветроколеса. Для реальных современных ВЭУ ξ лежит в диапазоне 0,38…0,48.

Чтобы получить электрическую мощность ВЭУ вышеприведенное выражение необходимо также необходимо умножить на произведение механического (редуктор, подшипники и т.п.) и электрического (генератор, трансформатор, и т.п.) КПД силовых путей элементов ВЭУ. Обычно для

современных ВЭУ общее КПД элементов может применяться в диапазонах 0,90…0,93.

Быстроходность ветроколеса Z определяется как отношение линейной скорости конца лопасти $V_л$ к скорости ветрового потока V.

Быстроходность важна, потому что для получения приемлемого качества электрического тока (~50Гц) необходимо, чтобы быстроходность ветроколеса была как можно выше. Большая линейная скорость конца лопасти, т.е. частота вращения ветроколеса выше, т.е. количество оборотов генератора выше, т.е. генерируемый этим генератором ток, ближе к желаемому (50 Гц). На практике недостающие обороты, помимо быстроходности «добирают» с помощью редукторов (коробки передач, которые увеличивают число оборотов на валу генератора), использование многополюсных генераторов, применением электрических схем, которые увеличивают частоту переменного тока и т.п. однако быстроходность все равно остается определяющим параметром для выбора типа ВЭУ.

Теперь, руководствуясь этими двумя важными параметрами можно задуматься над тем, почему в современной ветроэнергетической промышленности в подавляющем большинстве случаев используются трехлопастные горизонтально осевые башенные ВЭУ, которые используют подъемную силу. Ветроколеса, которые используют подъемную силу, имеют более высокий коэффициент использования мощности, чем при использовании силы сопротивления с достаточно высоким коэффициентом быстроходности. Башенные – потому что позволяют использовать поток ветра на высоте 100 м от поверхности земли, горизонтальноосевые по тем же причинам (наилучшее соотношение Z с ξ). Но с тремя лопастями вопрос остается открытым. Казалось бы, у двухлопастных ветроколес наилучшее соотношение Z с ξ, а используется крайне редко. Точнее в «большой» ветроэнергетике вообще практически не применяется. Причин две: при слишком высоком Z велик шанс,возникновения ситуации, когда конец лопасти уйдет в так называемый флаттерный режим при превышении

скорости звука (~340 м/с). Двухлопастные ветроколеса подвержены сложным динамическим нагрузкам (биение) связанным с двухполюсностью (по количеству лопастей) ветроколеса. При этом трехлопастные ветроколеса более равномерно распределяют нагрузку от лопастей на три полюса.

1.2.2. Устройство ветроэлектрической установки

Основные компоненты установок:

1. Ветроколесо (ротор), преобразующее энергию встречного ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Частота вращения составляет от 15 до 100 об/мин. Ветроколесо подключенное к сети ВЭУ обычно имеет постоянную частоту вращения и переменную для автономных систем с выпрямителем и инвертором;

2. Мультипликатор – является промежуточным звеном между ветроколесом и электрогенератором, который увеличивает частоту вращения вала ветроколеса и обеспечивает координацию частоты вращения генератора. В ВЭУ небольшой мощности со специальными генераторами с постоянными магнитами, мультипликаторы обычно не используется;

3. Башня (иногда она усилена стальными растяжками), на которой установлено ветроколесо. В мощных ВЭУ высота башни достигает 75 м. Обычно это цилиндрические мачты, хотя также используются и решетчатые башни;

4. Основание (фундамент), предназначено для предотвращения падения установки при сильном ветре.

Кроме того, для защиты от повреждений во время сильных порывов ветра и ураганов почти все ВЭУ большой мощности автоматически останавливаются, если скорость ветра превышает предельное значение. В

целях технического обслуживания они должны быть оснащены тормозным устройством. Горизонтально – осевые ВЭУ имеют в своем составе устройство, обеспечивающее автоматическую ориентацию ветроколеса по направлению ветра.

1.2.3 Диапазон размеров ветроэлектрических установок

Размер ВЭУ зависит от его предполагаемого применения. Главной особенностью, характеризующей размер данных систем, считается мощность ветроагрегата. К примеру, ВЭУ с мощностью 50 кВт и выше могут быть использованы для работы на сеть.

ВЭУ малой мощности обычно используются в качестве автономных. К примеру, мощность ВЭУ для электроснабжения жилого здания может быть от нескольких сотен Вт до 10 кВт в зависимости от нагрузки и ротребления энергии. В качестве резервного источника энергии в течение длительных периодов затишья в состав аналогичных ВЭУ обычно входят аккумуляторные батареи (АБ), во многих случаях и дизель – генератор. Малые предприятия и отдаленные поселки могут использовать ВЭУ значительно большей мощности. Турбины малой мощности (менее 1 кВт) можно применить для зарядки аккумуляторов и питания малой нагрузки (связь, освещение, электроинструмент, телевизор и т.п.). ВЭУ также могут быть подключены к сети и передавать генерируемую энергию в местную электросеть, или быть автономными, в случае непосредственной близости потребителя от ветроагрегата.

1.2.4 Автономные системы энергоснабжения

Любая автономная система, в том числе и ветроэлектрическая, работает независимо от централизованной электросети. В данных условиях ВЭУ могут работать независимо друг от друга, использоваться как дублер любого другого генератора или использоваться в сочетании с другими энергетическими установками в качестве компонента комбинированной системы энергоснабжения. Такие системы используются для подъема воды или для электроснабжения домов, ферм либо производственных помещений небольших предприятий.

Как правило, автономные ВЭУ малой мощности генерируют постоянный ток для заряда АБ. Система содержит инвертор для преобразования постоянного тока в переменный с напряжением 230 В. Более мощные системы, применяемые, к примеру, для питания нескольких объектов, обычно генерируют переменный ток.

Разумеется, основным фактором, характеризующим выбор между использованием автономной энергетической системы и проведением линий электропередачи (ЛЭП) от объекта к централизованным сетям энергоснабжения, является конкурентоспособность стоимостных характеристик ВЭУ в сравнении с подключением к сети.

1.3. Влияние метеорологических факторов на размещение ВЭУ.

Места со следующими метеорологическими характеристиками является наиболее подходящими для использования энергии ветра:

1. Высокой среднегодовой скоростью ветра как важнейший фактор, характеризующий годовую выработку на одну ВЭУ;
2. Редко встречающимися условиями с высокой интенсивностью турбулентности воздушных потоков, то есть в среднем, незначительные

изменения в направлении и скорости ветра в качестве предварительного условия для работы ВЭУ без помех;

3. Наличие преобладающего направления основных ветровых потоков, что позволяет уменьшить площадь, необходимую для размещения многоагрегатной ВЭС.

При наличии очевидно доминирующих направлений основных ветровых потоков расстояние между ВЭУ, которое требуется для уменьшения эффекта ”затишья”, может быть минимизировано, то есть отдельные блоки могут быть установлены ближе друг к другу в направлении перпендикулярно главному направлению ветра. Таким образом, помимо метеорологических характеристик, важную роль в окончательном выборе места для использования энергии ветра играют другие факторы, а именно:

1. Наличие транспортной сети и возможность включения в действующую энергосеть;

2. Законодательные положения, такие как закон, об охране природы, правила безопасности полетов, защита здоровья населения, особенно тех, кто непосредственно проживают в этом районе;

3. Экономически факторы, такие как цена на землю;

4. Негативное влияние на окружающую среду, такие как шум, искажение ландшафта и помехи при приеме радио и телепередач.

Следует также отметить, что отдельные районы из-за ограничений, накладываемых законодательством, не подлежат рассмотрению как возможные местоположения будущих станций. Поэтому анализ должен исключать природные заповедники и те области, в которых ВЭУ запрещены в соответствии с применимыми строительными нормами либо ограничены в соответствии с правилами безопасности.

Основным направлением климатического обеспечения энергетики является разработка, нацеленные на достижение наибольшей оптимизации работы энергосистем, работающих от ВЭУ. В данной области

исследования проводятся с точки зрения законов пространственной и временной изменчивости “энергетических затиший” (так называемый диапазон скоростей ветра, не превышающего 5м/с, то есть пороговой скорости, выше которой ВЭУ начинает вырабатывать электроэнергию). В то же время внимание уделяется не только общей продолжительности, но и на так называемую непрерывную продолжительность энергетических затиший. Не менее важное место отводится и выявлению в различных географических зонах интервалов «энергетически активных» скоростей ветра, при которых происходит реальная выработка электрической энергии для конкретных ВЭУ. Обычно это диапазон скоростей от 5 до 20 – 25 м/с. Наиболее важные для практических целей задачи является участок диапазона, при котором производства энергии поддерживается в режиме “номинальной” мощности. Для ВЭУ малой мощности этот участок начинается со скорости ветра 8,9 м/с, установок средней и большей мощности со скорости 12 – 24 м/с.

Результаты вертикального распределения повторяемости “электроактивного” диапазона скорости ветра в приземном слое над многообещающими в ветроэнергетическом отношении районами и изучение зависимости распределения от местных условий на первом этапе очень важны для практического использования.

2. Ветровой режим Узбекистана

2.1 Физико – географические особенности Узбекистана.

2.1.1 Общее описание

Республика Узбекистан расположена в центральной части Средней Азии, в основном между Амударьей и Сырдарьей.

Самая северная точка Узбекистана располагается на северо – востоке плато Устюрт (45° 31' с. ш.), самая южная точка – Термез, на реке Амударья (37° 11’ с. ш.), западная точка находится на плато Устюрт (56° в. д.), а самая восточная точка – на юго-восточной части Ферганской долины (73° 10' в. д.). Расстояние между самой северной точкой Узбекистана и самой южной точкой составляет 925 км, а расстояние между западной точкой и восточной точкой составляет 1400 км.

Узбекистан по географическому положению располагается приблизительно в одной и той же широте с Испанией, Италией, Грецией и с другими средиземноморскими странами. Однако Узбекистан значительно отличается от субтропического региона тем, что находится далеко от океанов и морей во внутренней части евразийского континента. Кроме того, горами заблокированы влажные и теплые воздушные потоки (муссоны) с Индийского океана. Напротив, северная часть открыта, и холодные потоки движутся спокойно. В результате в Узбекистан расположен в субтропическом регионе с природными условиями, характерными для пустыни (летом безоблачная погода, с большим числом солнечных дней, жарким и сухим; а зимой сравнительно холодной).

Большая часть границы Узбекистана проходит через равнины, незначительная через холмы и горы. Республика граничит с Казахстаном на севере и северо-западе, с Кыргызстаном на востоке, с Таджикистаном на юге и с Туркменистаном на юго-западе. На юге Узбекистан граничит с

Афганистаном (через реку Амударья) в Сурхан-Шерабадской долине. Площадь Узбекистана составляет 448,9 тыс. кв. км и по размераммзанимает лидирующее место в Центральной Азии после Казахстана и Туркменистана. Площадь Узбекистана больше, чем в Европейских странах, таких как Великобритания и Италии. Ели обледенить земли таких стран, как Бельгия, Нидерландия и Дания, территория Узбекистана будет больше в 4 раз, больше Швейцарии в 10 раз.

2.1.2 Особенности рельефа

По структуре земли территория Узбекистана разделена на две части: самую большую (78,7%) часть равнины и оставшуюся часть (21,3%) горы и межгорные впадины. С запада и северо – запада на восток и юго – восток территория республики постепенно повышается. Самая низкая часть расположена в пределах 60 – 100 м над уровнем океана в Низовьях Амударьи и по берегам Аральского моря.

Равнины. Равнинная часть Узбекистана является частью Туранской равнины и занимает западную и северо-западную часть. Плато Устюрт расположено на северо-западном краю равнины. Между Плато и равнинами Аральского моря расположены отвесные обрывистые края отделяя их друг от друга, которая называется чинком. Высота узбекской части плато Устюрта составляет около 120 – 180 м над уровнем океана, а ее самая высокая точка находится на хребте Карабаур и составляет 292 м. Поверхность Устюрта не полностью ровная, а встречаются впадины, такие как Барсакельмес, Асака-Ауданская и др., а с юго-восточной стороны плато находится Сарикамышская впадина.

В низовьях Амударьи находится огромная дельта. Его поверхность прорезана древней рекой (Кундарья, Дарьялык) и ее нынешней рекой. В средней части дельты имеются небольшие возвышенности сложенные из коренных горных пород.

На востоке от дельты Амударьи начинается пустыня Кызылкум. Строение рельефа очень разнообразен. Здесь нихкие горы – это Букантау, Тамдытау, Ауминзатау, Кульджуктау, Етымтау, а также в западной части горы Султан-Увайс, между песчаными и глинистыми равнинами. Большая часть Кызылкума имеет занимают песчаные равнины. Среди нижних гор расположены рвы (Мингбулак, Аякагытма, Карахата и др.). Дно кормы Минбулак находится на 12 м ниже уровня океана. В Кызылкуме также встречаются следы рек, проходящих в древности по территории Кызылкума, таких как Амударья, Сырдарья и Заравшан.

На востоке и юго-востоке пустыни Кызылкум находятся глинистые и лессовые степи Мирзачуль, Карнаб, Каршин, Малик и другие.

Горы. Западные и юго-западные отроги Тянь-Шанского и Гиссаро-Алайского хребтов расположены на территории Узбекистана. Их высота понижается равномерно к югу и западу, переходя постепенно в равнины.

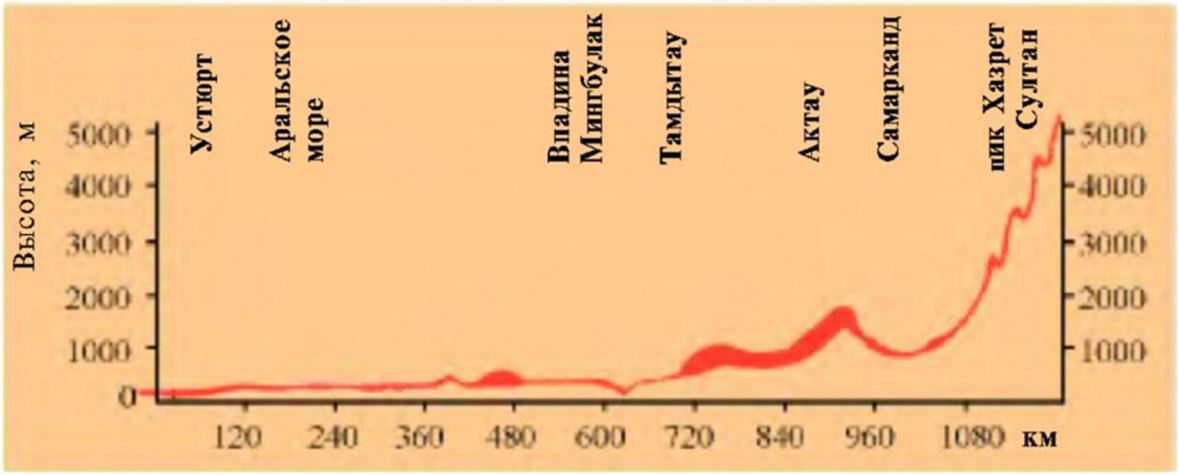

Рис.2.1 Профиль рельефа Узбекистана по линии впадины Минбулак – пик Хазрет Султан

В северо-восточной части Узбекистана есть несколько горных хребтов западного Тянь-Шаня (Каржантау, Угамский, Пскемский, Чаткяльский, Кураминский). Начиная с Таласского Алатау. В этой горной

системе Манас является самой высокой точкой и составляет 4484 м над уровнем океана.

Самая высокая вершина Чаткальского хребта расположенная на территории Узбекистана является Большой Чимган, его высота составляет 3309 м. между хребтами Чаткал и Курама находится плато Ахангаран. Западная часть Тянь-шаньского отрога имеет высоту 2500 – 4000 м над уровнем океана и в верхних частях встречаются вечные снега и ледники.

Центральная часть Ферганской долины расположена в пределах Узбекистана и окружена с запада Кураминской, с севера Чаткальской, с восточной стороны Ферганским, а с юга Алайским и Туркестанскими горными хребтами.

От Туркистанского хребта к северо-западу отделены Мальгузарский и Чумшартаский хребты. Только северные склоны Чумшартаского хребта заходят на территорию Узбекистана. На северо-западе Мальгузарского хребта расположены Нуратинские горные хребты. они отделены друг от друга долиной реки Санзар, так называемыми Воротами Амира Темура, являющимся наиболее узкой части долины. Нурата состоит из - северных и южных Нуратинских частей хребтов. В северной части горной цепи точка Хиятбаши является самой высокой и составляет 2169 м. Южная часть Нуратинских гор состоят из отдельных горных массивов (Актау, Каратау, Карачатау, Габдунтау).

На юге долины реки Зарафшан расположены горы Зарафшанского хребта. На территории Узбекистана данный горный хребет существенно понижен и состоит из Чакылкалянских и Каратепинских гор. В западной части гор есть низкие горные хребты, называемые Зирабулакскими и Зиадинскими горами, самая высокая точка которых составляет 1115 м.

На юге Зарафшанского хребта расположен Гисарский хребет и его юго-западные отроги (хребты Яккабаг, Сурхантау, Кугитанг и др.). Самая высокая точка Узбекистана называется Хазрет Султаном и имеет высоту

4643 м. (рис.1). На юге Узбекистана возвышается Бабатагский хребет, пик вершины которой составляет 2289 м.

Межгорные впадины. В горной части Узбекистана межгорные впадины занимают особенное место. Появление их связана с подъемом горных хребтов. Вся площадь межгорных впадин почти ровная и прорезана только по руслу реки. Их поверхность поднимается все выше чем ближе горные хребты

Одним из крупнейших межгорных впадин на территории Узбекистана является Чирчик-Ахангаранская котловина. На востоке он окружен западными Тань-шаньскими хребтами, а на юго-западе соединяется с Мирзачульской равниной. Его средняя высота 300 – 500 м. над уровнем океана.

В юго-восточной части Чирчик-Ахангаранской впадины находится Ферганская межгорная долина (впадина). Средняя высота которой составляет где то 300 – 400 м над уровнем океана. Долину пересекает рака Сырдарья.

На юго-западе от Мирзачульской равнины находятся Нуратинские и Куйташекие горы, а также к югу от хребта расположена Санзар-Нуратинская межгорная впадина, которая окружена с северо-востока Мальгузарскими, Нуратинскими на севере, Южно-Нуратинскими и Чумкарскими горами с юга. Его высота равномерно понижается с юго-востока на северо-запад от 800 до 300 м.

Между Южно – Нуратинским, Зарафшанским и Зирабулак – Зиадинским хребтами располагается Зарафшанская котловина. По ней протекает река Зарафшан, которая разделяется у города Самарканд на Акдирью и Карадарйо, возле поселка Хатырчи реки сливается и образуют остров Миankале длиной в 100 км и шириной 15 км. Зарафшанская впадина имеет высоту над уровнем моря с восточной части 900 м, и с западной – около 300 м.

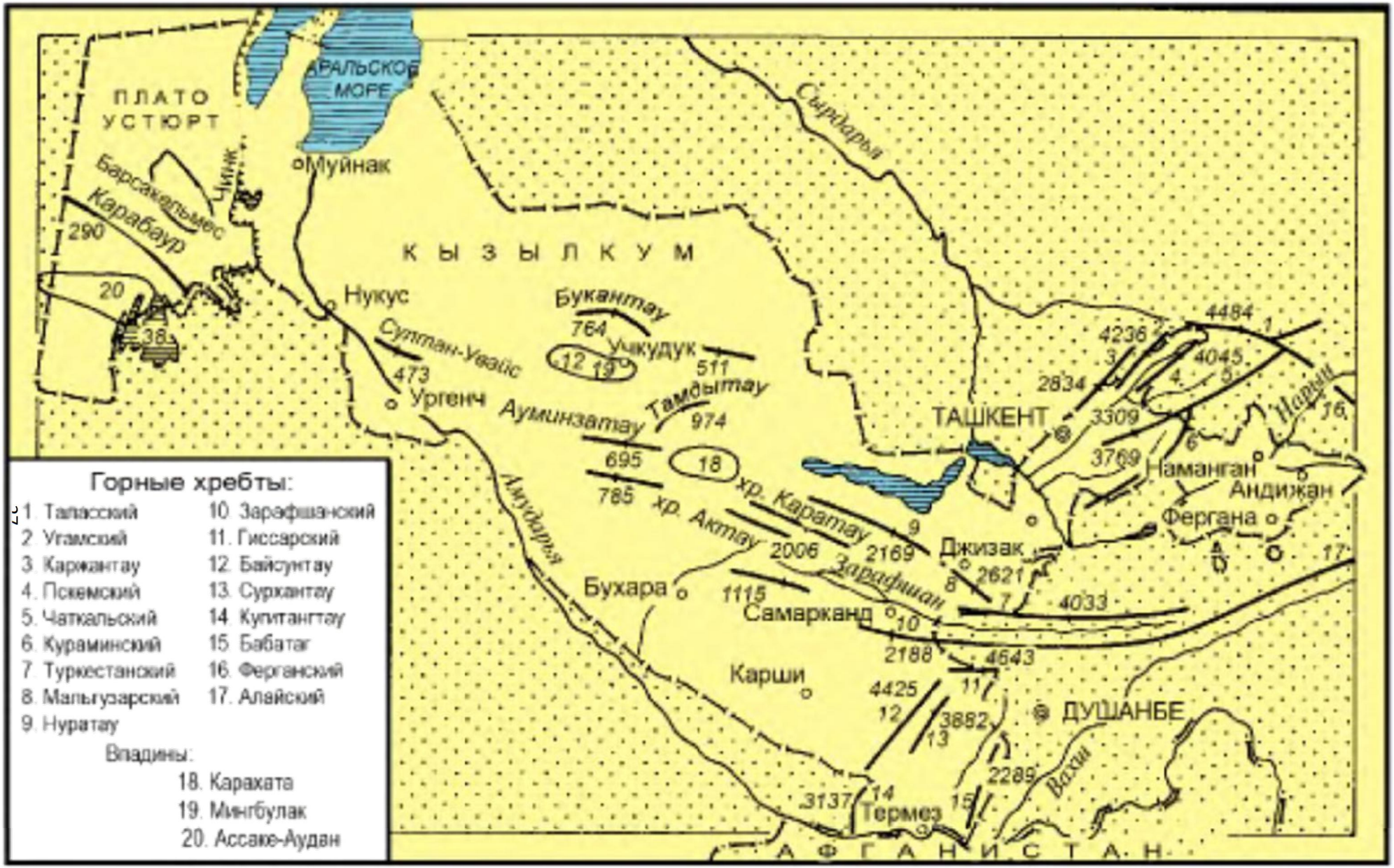

Рис. 2.2 Рельеф Узбекистана

На юге Зарафшанского хребта находится Китабо-Шахрисабская межгорная впадина. Высота над уровнем океана с западной стороны 500 м, а с восточной стороны 500 м. с юго-востока впадина окружена юго-западными отрогами Гиссайского хребта и открыта с запада.

В южной части Узбекистана Шерабад-Сурхандарьинская впадина тянется с северо-востока на юго-запад. Она с севера, северо-запада и запада окружена Гиссарскими горами и их отрогами.

Высота Шерабад-Сурхандарьинская впадины с юго–запада 300 м, а с северо–востока – 700 м. Впадину пересекают реки Сурхандарья и Шерабаддарья.

2.2 Климат Узбекистана

2.2.1 Общее описание

Узбекистана расположен вдали от океанов и морей, во внутренней части Евразийского материка, это обусловливает континентальность его климата. Особенности континентального климата обусловливается:

- малооблачной и солнечной погодой;
- высокими показателями температуры;
- в небольшом количестве атмосферных осадков, приходящихся обычно в осенне-зимний период;
- малой потенциальной испаряемостью влажности;
- в продолжительности и знойности лета;
- также холодной зимой относительно зимы в других странах, широты которых близки к данному;
- в суточных и годовых значениях колебания температуры воздуха.

Эти особенности климата Узбекистана формировались под воздействием климатообразующих факторов.

2.2.2 Факторы, влияющие на формирование климата

На формирование климата республики оказывает влияние ее географическое положение (на юге умеренного и на севере субтропического поясов), и связанная с ним интенсивность солнечной радиации, своеобразие циркуляции атмосферы, рельеф местности и хозяйственная деятельность людей (антропоген).

Поскольку территория Узбекистана простирается с севера на юг на 925 км, лучи Солнца не попадают одинаково для всех его частей. Если в северной части летом (22 июня) солнечные лучи падают под углом 71 – 72º, то с юга падает под углом 76º. Поэтому, если солнце светит на севере 2500 – 2800 часов в год, на юге количество часов с солнечными сияниями составит 3000 – 3100 в год.

Циркуляция атмосферы играет ключевую роль в формировании климата Узбекистана. Зимой с севера и северо-востока холодные воздушные массы, такие как сибирский антициклон, проникают на территорию Узбекистана и достигают до самых южных частей. В результате погода становится ясной и в тоже время холодной.

Зимой на территорию Узбекистана могут проникать также воздушные массы умеренных широт и из-за столкновения с тропическими течениями, погода меняется, становясь более теплой, и сопровождается выпадения дождя или снега.

Из-за того что летом территория Узбекистана, а именно равнины сильно нагреваются, образуются так называемые термические очаги. В результате воздух становится слишком горячим и сухим и формируется Туранская тропическая воздушная масса. Чтобы заполнить этот пробел (низкое давление) с северо-запада и запада проникают теплые и более влажные воздушные массы. Но из-за перегрева воздуха эти воздушные

массы не вызывают выпадения осадков. Так как этот воздушный поток в горах относительно прохладный, в горах идут дожди и снега.

Рельеф также влияет на климат Узбекистана. Северная и северо-западная сторона республики открыты. В результате зимой холодная воздушная масса спокойно проникают. Южная же часть закрыта горами, из-за чего теплые тропические воздушные массы не могут проникнуть на территорию Узбекистана. В горах летом воздух прохладнее относительно равнин, дождей выпадает больше, зимы холодные и продолжительные.

Влияние на погоду и климат оказывает и хозяйственная деятельность человека: в зонах орошаемого земледелия температура воздуха понижается на 1,5—3,5°, относительная влажность повышается на 10—15%.

2.2.3 Климатические особенности

Распределение тепла. Для того чтобы иметь представление о распределении тепла на территории Узбекистана, необходимо знать среднегодовую температуру. Например, среднегодовая температура в Нукусе +10,8°, В Ташкенте +11,9°, В Термезе +17,8°С.

Распределение осадков.

Осадки в Узбекистане считаются основным источником воды и распределяются неравномерно по регионам и сезонам. Это в значительной степени зависит от характеристик воздушной массы, строении поверхности земли, направления и высоты гор. Осадки в основном вызваны влажной воздушной массой, идущий с Атлантического океана (рис.3).

Минимальное среднегодовое количество осадков в Узбекистане составляет около100 мм и выпадает на Устюрте, в Низовьях Амударьи и в пустыне Кызылкум. Количество осадков увеличивается к востоку и юго-востоку за счет увеличения высоты рельефа. На склонах и предгорных зонах, Узбекистана среднегодовое количество осадков составляет около 300 – 550 мм, на склонах западного Тянь-Шаня и Гисарско-Зарафшанского

гор, с юго-западной стороны на территориях, столкнувшихся с влажной воздушной массой, осадков выпадает до 800 – 900 мм. Большая часть осадков выпадает зимой (30% от годового количества осадков) и весной (40%).

Часть осадков выпадает в виде снега. Но в равнинной части региона снежный покров неустойчивый, быстро тает, может держаться 40 – 50 дней на северо-западе, 10 – 15 дней на юго-востоке, 90 – 100 дней в горах.

Средняя толщина снега составляет около 1 – 8 см до 30 см на равнинах, 10 – 20 см до 60 см в предгорьях, 60 см максимум 1,5 – 2,0 м в горах.

На равнинах среднегодовое испарение в несколько раз превышает количество выпадаемых осадков (в Ташкенте – в 3,5 раза, в Нукусе – в 27 раз).

Времена года в Узбекистане отличаются от стран расположенных на той же широте (рис. 4).

Весна в Узбекистане начинается рано в феврале, когда среднесуточная температура превышает +5°С. Погода изменчива: часто теплая погода меняется на холодную, выпадает много осадков (около 40% от годовой нормы), из-за ливней могут образоваться сели. Иногда весной бывают заморозки, сопровождающимися снегопадами, которые могут нанести ущерб садоводству.

Весной, в конце апреля, в начале мая температура воздуха повышается, воздух прогревается, осадков выпадает меньше, наступает лето.

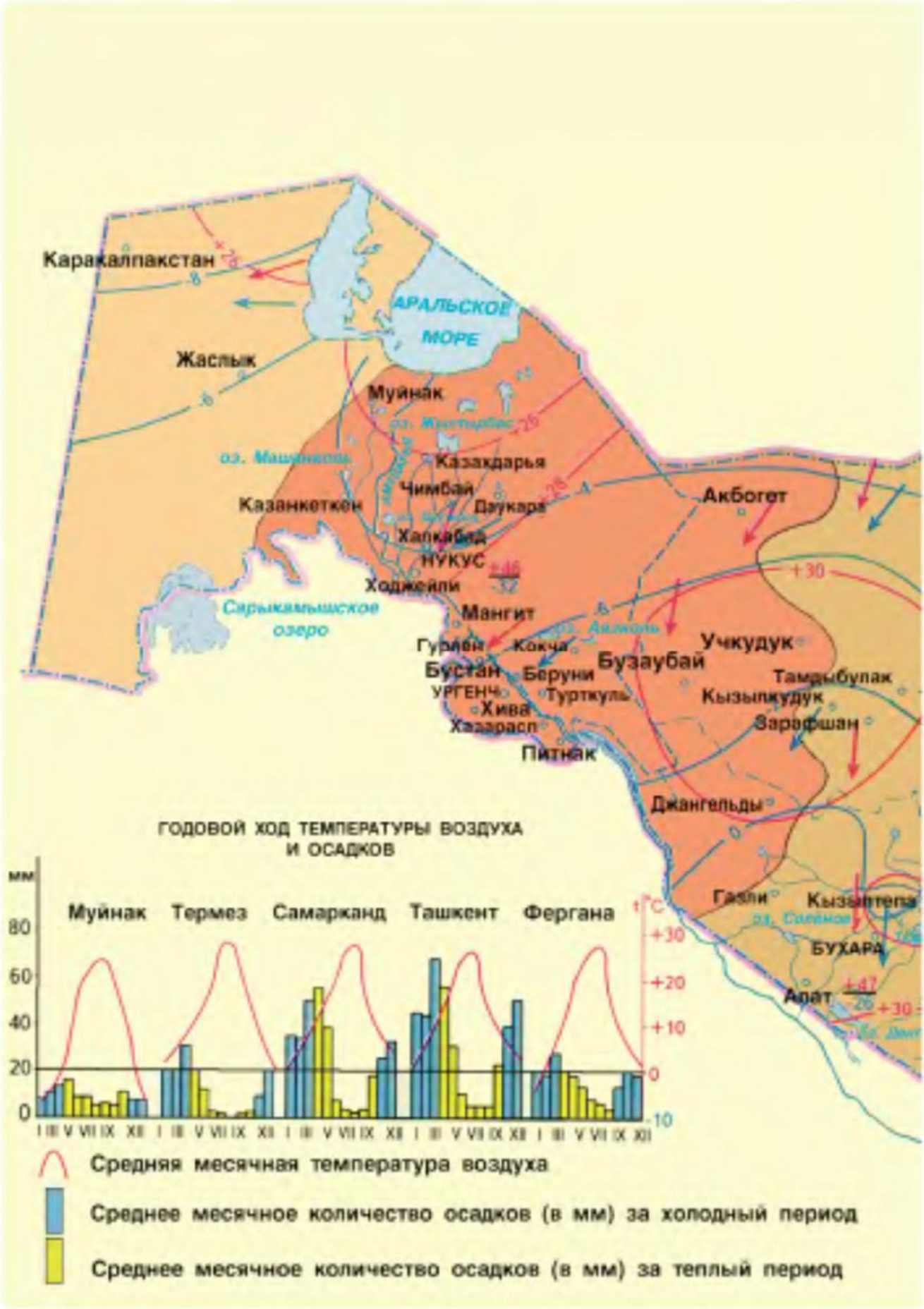

Рис.2.3 Годовой ход температуры воздуха,

количество осадков и направления ветров

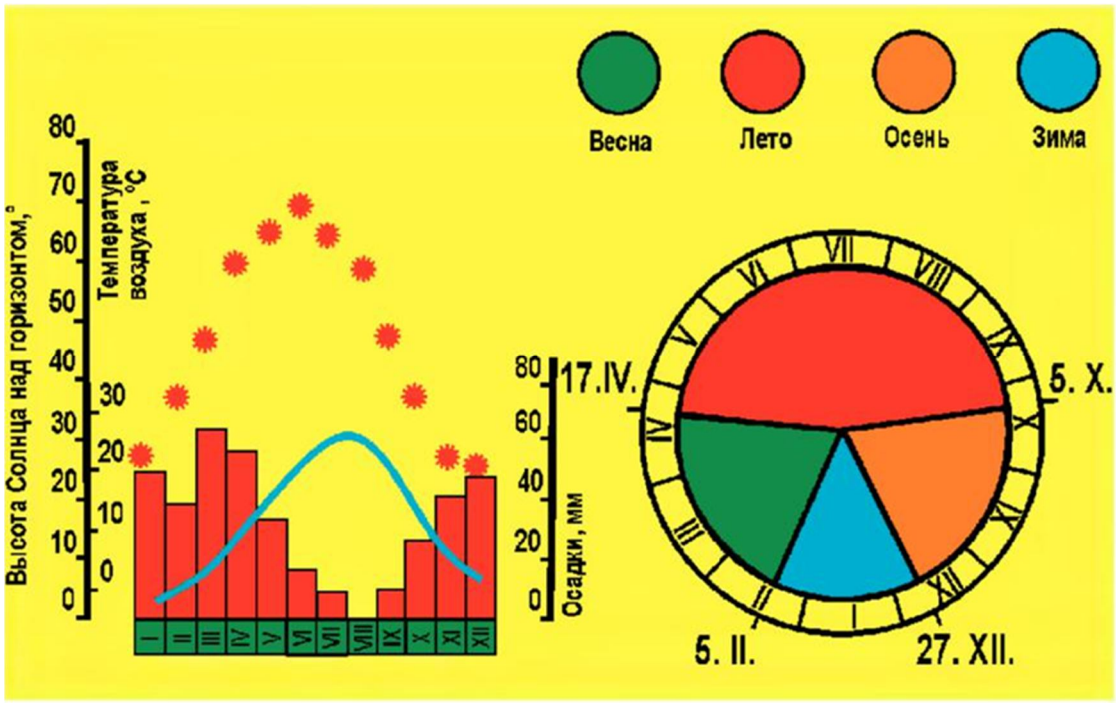

Рис. 2.4 Основные климатические показатели г. Ташкента

Лето. Июнь, июль, август считаются летними месяцами, но фактически наступает, когда среднесуточная температура воздуха превышает +20°С и заканчивается когда среднесуточная температура опустится ниже +20°С. Следовательно, лето начинается примерно в мае и заканчивается в октябре.

Летом, среднесуточная температура воздуха составляет для равнин около +26 – +32°С, иногда из-за сильного потепления температура может достигать в Ташкенте +41 – +48°С, в Термезе – +50°С. Продолжительность лета составляет 110 дней на севере, на юге 160 дней. В горах, лето короче и прохладней относительно равнин.

Осень. Хотя это осенние сезоны, погода относительно сухая и жаркая. Следовательно, началом осени считают октябрь, когда среднесуточная температура становится ниже +20°С, когда погода начинает меняться, продолжительность дня сократиться, ночью может

выпасть иней. Окончанием осени считают дни, когда среднесуточная температура

опускается ниже +5°С.

Зима в Узбекистане относительно холодная по сравнению с окружающими государствами Средиземноморья. Зимой погода часто меняется, часто погода открытая и холодная, иногда меняясь на теплые, облачные сопровождающимися осадками погоду. Зима начинается во второй половине декабря. Самые холодные дни бывают зимой (с 25 декабря по 5 февраля, 40 дней). Потому что в это время на территорию Узбекистана проникают Арктические и Сибирские антициклоны. В результате чего температура падает до – 38°С в Устюрте, а в Сурхандарье – 20°С. В горах зима продолжительная и длится 3 – 4 месяца.

Ветровой режим. Ветровой режим Узбекистана отличается разнообразием. На равнинах основную роль играет барический рельеф и характерные для Средней Азии синоптические положения. В предгорьях и в горах ветровой режим зависит в основном от орографических особенностей местности.

Большую часть года (осенью, зимой и весной) над равнинной территорией Узбекистана преобладают ветры северо – восточной части горизонта. Это объясняется тем, что с сентября по мая над равнинами Средней Азии распространяются воздушные течения юго – западной периферии отрога сибирского антициклона.

Летом также преобладают ветры северных румбов, так как атмосферное давление на Средней Азии значительно выше, чем на юге, хотя причины формирования барического поля в летние месяцы иные, чем в зимние. Градиенты давления, направленные с севера на юг, обусловлены существованием отрога азорского максимума над плато Устюрт и летней термической депрессии с центром над Пакистаном и южным Памиром. Повторяемость преобладающих направлений ветра северной половины горизонта составляет 25 – 35%.

В зоне предгорий, куда можно отнести также низкие склоны гор и широкие горные долины, местами достаточно ясно выражена циркуляция, характерная для равнин (например, в Ташкенте), а местные ветры, вызванные орографией, накладывают на нее лишь известный отпечаток. В других случаях местные ветры затушевывают на нее лишь известный отпечаток. В других случаях местные ветры затушевывают черты, характерные для равнин Средней Азии (например, горловина Ферганской долины).

Особенно сложен ветровой режим крупных горных долин, где наблюдается целая система горно – долинных и склоновых ветров. Ветровой режим внутри горных долин ещё более усложняется процессами общей циркуляции над Средней Азией в целом.

В холодный период года в предгорьях и горных районах Узбекистана главными барическими образованиями, определяющими преобладающие направления ветра, являются юго – западная периферия отрога зимнего азиатского антициклона и горный орографический антициклон, располагающийся над системами Тянь – Шаня и Памиро – Алая.

Соответственно направлениям барических градиентов и ориентировке горных хребтов в предгорной и горной зоне Узбекистана преобладают восточные, северо – восточные и юго – восточные ветры.

В северной части Ферганской долины, на южных склонах Чаткальского и Ферганского хребтов преобладают северные ветры; в южной части, на склонах Туркестанского и Алайского хребтов – южные ветры; в горле Ферганской долины и у выхода из нее на равнину – ветры восточных румбов.

Таким образом, вся система горно – долинной циркуляции в Ферганской долине отличается значительным преобладанием горных ветров (вник к дну долины или из нее на равнину), усиленных орографическим антициклоном.

Юго – западные и западные ветры в западной половине Ферганской долины и у входа в нее в районе Голодной степи обусловлены местной депрессией над Ферганской котловиной.

Над Центральным Тань – Шанем в летний период сохраняется область высокого давления и ветры дуют в основном вниз к равнине. Над большей частью предгорий в отрогах Западного Тянь – Шаня и Западного Памиро – Алая в связи с возникновением термической депрессии ветры меняют свое направление преимущественно на северное или северо – западное.

Повторяемость преобладающих направлений ветра над горными районами составляет 30 – 40%, местами 40 – 50%. Средние годовые скорости ветра в равнинной части Узбекистана изменяются в пределах 3 – 5,5 м/сек.

Для побережья Аральского моря и центральной части пустыни Кызылкум характерно увеличение скоростей ветра по сравнению с равнинной. В оазисах они несколько уменьшаются. В предгорьях и на побережье Аральского моря усиление ветра бывает весной или в начале лета. Наименьшие скорости ветра в этих районах отмечаются в конце лета или осенью, местами – зимой.

В суточном ходе скорости ветра максимум наблюдается преимущественно в дневные часы в течение всего года. В западных отрогах Тань – Шаня (районы Аблыка, Чарвака, Пскема) в зимние месяцы усиление ветра приходится на ночные и утренние часы, а ослабление на дневные. Аналогичный суточный ход скорости ветра наблюдается в течение всего года в восточной части Ферганской долины (Байток, Андижан).

Для решения многих практических задач недостаточно знать только средние скорости ветра. Для более полной характеристики пользуются вероятностью скоростей ветра в различных пределах и данными скоростей ветра по румбам.

Над территорией Узбекистана преобладают ветры слабые или умеренные, причем наибольший процент составляют ветры скоростью 0 – 1 м/сек (25 – 65%). Повторяемость ветра от 0 до 5 м/сек составляет 70 – 98%. Наибольшая вероятность слабых и умеренных скоростей ветра (до 5 м/сек) приходится в основном на холодный период года. Скорости ветра свыше 10 м/сек наблюдаются относительно редко и их вероятность составляет от 1 до 6%.

В Узбекистане число дней с сильным ветром (от 15 м/сек и более) колеблется в больших пределах в среднем от 1 – 5 до 50 – 60 дней за год. Это объясняется значительным разнообразием местоположения метеорологических станций и степени защищенности флюгера.

На больше части территории сильные ветры бывают сравнительно редко, и годовое число дней с сильным ветром не превышает 10 – 15 дней, но, наряду с этим, некоторые районы отличаются большим количеством сильных ветров. Так, например, на побережье Аральского моря число дней с сильным ветром изменяется в среднем от 20 до 50 за год. Значительное количество сильных ветров (25 – 50 дней) наблюдается в центральной части пустыни Кызылкум. В долинах с узким входом число сильных ветров значительно возрастает. Особенно много их перед входом в узкую часть Ферганской долины (в Урсатьевской 48 дней, в Запорожской 63 дня). По другую сторону узкого входа в долину повторяемость сильных ветров несколько уменьшается и составляет 50 – 40 дней.

Наибольшее число дней с сильным ветром на территории Узбекистана изменяется преимущественно от 1 – 2 до 10 дней за месяц, а в районах, отличающихся большим количеством сильных ветров, число их в отдельные месяцы может достигать 15 – 20 дней.

3. Методы расчета ветроэнергетических ресурсов

3.1 Средняя многолетняя скорость ветра

Среднегодовые значения скорости ветра дает основную информацию об интенсивности ветра и таким образом об энергетических ресурсах ветра. Средняя характеристика передается в виде геометрической суммы ветров за определенный промежуток времени (год, месяц, сутки). В годовом ходе рассматривается изменчивость средних месячных скоростей. Средняя скорость ветра из года в год колеблется незначительно, однако во избежание неоднородности ряда, просмотр цифровых данных следует, однако производить, имея историю станции.

Структура суточных изменений скорости ветра – это результат измерений этих скоростей в течение суток. Складывая среднечасовые скорости ветра за все дни месяца (года) для данного часа и деля результат на число дней, получаем суточное изменение за месяц (год), которое отражает структуру среднесуточных изменений за месяц или за год. Суточное изменение очень важно при подключении ВЭС к общей системе энергоснабжения, так как потребность в электроэнергии максимальна в полдень и в начале вечера и минимальна в утренние часы.

Для практических потребителей ветроэнергетики важны не только осредненные по месяцам скорости, сколько распределение повторяемости скорости ветра по градациям выше определенного заранее порогового значения (4-5 м/с). Чрезвычайно важно правильно выбрать чисто градаций. Одним из наиболее простых способов определения числа градаций является способ, основанный на использовании выражения

$$S = 5lgN$$

Где S – число градаций

N – объем обрабатываемой информации.

В этом случае единственным параметром, по которому оценивается число градаций, является объем выборки, который должен быть достаточно большим.

3.2 Расчет скорости ветра редкой повторяемости

Безопасность работы ВЭУ (их устойчивость к различному роду поломок, вынужденным колебаниям и т.д.) требует проектирования отдельных элементов и всей системы в целом, способных работать в наиболее благоприятных условиях действительно существующих мгновенных полей скоростей ветра.

Для определения расчетных скоростей ветра методом ГГО используется вся совокупность срочных наблюдений за скоростью ветра, аппроксимируемая у равнением Вейбулла – Гудрича.

$$F(u) = e^{-(\frac{u}{\beta})^{\gamma}}$$

Где F(u) – интегральная функция распределения скоростей;

β – параметр распределения, который равен значению скорости ветра с обеспеченностью 36,8%;

γ – параметр распределения, от тангенса угла наклона.

Выполнение расчетов значительно упрощается, если использовать вероятностную бумагу (клетчатку) ГГО. Наиболее удобна клетчатка распределения, построенная И.С. Семеновой. Отличие указанной клетчатки от использовавшихся ранее является соответствие вертикального и горизонтального масштабов: lg(u) нанесены значения скорости ветра u и lg[-lgF(u)] значения интегральной частоты F(u) в процентах. Что дало возможность избежать введение поправок к величине параметра γ, определяемой по тангенсу угла наклона выпрямленного графика распределения скорости ветра на клетчатке. На этой клетчатке кривая распределения полученная по срочным наблюдениям за ветром,

изобразится в виде прямой, если само распределение удовлетворяет условию (2.2)

При двойном логарифмировании выражения (2.2) получаем

$$lg[-lgF(u)] = \gamma lgu - \gamma lg\beta + lglge$$

Где γ – тангенс угла наклона прямой к оси X;

β – значение скорости ветра с вероятностью 0,368 (при β = u значение $F(u) = e^{-1} = 0.368$).

параметры распределения β, u, γ, соответствующие функции распределения (2.2), можно также определить следующим образом:

$$\gamma = \sum_o^n lnln\frac{1}{F(x)}lnx - \frac{1}{n}\sum_0^n lnln\frac{1}{F(x)}\sum_0^n lnx\sum_0^n (lnx)^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_0^n lnx\right)^2$$

$$\beta = exp\left\{-\frac{1}{n}\sum_0^n\left[lnln\frac{1}{F(x)} - \gamma lnx\right]\right\}$$

где x_i - скорость ветра, м/с;

F_i – вероятность скоростей ветра не ниже заданного предела

n – число градаций элемента.

Можно отметить, что эти оба параметра заметно меняются от одного района к другому, параметр γ менее изменчив. Но имеет более сложное распределение в пространстве по сравнение с β.

Проводя интегральную кривую распределения, нужно ориентироваться главным образом на центральные точки на сетчатке, первыми же тремя точками, относящимся к малым скоростям, можно пренебречь. Прямая линия проводится до пересечения с вертикальной линией, соответствующей повторяемости 1 раз в N лет. И затем с графика снимаются скорости ветра возможные 1 раз в год, пять, десять лет и т.д., то есть можно определить на какую скорость ветра можно рассчитывать при заданной вероятности. Если имеющийся ряд наблюдений относительно короткий (не более 15 – 20 лет), то целесообразно определять расчетную максимальную скорость ветра

не по годовым, а по месячным экстремумам. Принципиально методика расчета скоростей ветра по месячным экстремумам ничем не отличается от расчета по годовым.

Определение расчетных скоростей ветра, по методу ГГО, клетчатка. Предполагаемый способ обработки данных обладает многими преимуществами перед другими аналогичными способами. Эти преимущества состоят в следующем:

1. При проведении прямой учитывается не максимально необходимое для определения параметров β и γ количество данных (две точки), а значительно большее количество. При этом проведении прямой сглаживаются ошибка отдельных данных, что существенно увеличивает точность результатов;

2. В процессе этой графической обработки автоматически выясняется, насколько хорошо закономерности данных наблюдений описываются принятым видом зависимости функции $P(u)$. Если расположение точек на графике обнаруживает существенную кривизну, то можно сделать вывод, что наблюдения не удовлетворяют предложенной формуле. Если же при некотором неизбежном разбросе точки хорошо ложатся на прямую, то зависимость F от u описана правильно;

3. Для вычисления расчетных скоростей ветра заданных обеспеченностей нет необходимости вычислять параметры кривой распределения β и γ. Достаточно просто проложить прямую в сторону больших скоростей (малых повторяемостей) и снять значения при заданном f(u);

4. Вся обработка не требует никаких вычислений, а состоит только из графических построений, чем существенно уменьшается вероятность всякого рода просчетов;

5. Наконец можно отметить, что с помощью предлагаемой методики графической обработки одинаково легко решаются и прямая и обратная задача экстраполяции, то есть как определить скорости по

заданной обеспеченности, так и определение степени обеспеченности заданной скорости.

3.3 Вертикальные профили скорости ветра

При утилизации ветра мощными ВЭУ, высота которых может достигать 50 – 100 м и более над водной поверхностью, интерес представляет распределение скоростей не только на уровне 10 м, но и вышележащих слоях атмосферы.

Если нет фактических измерений ветра выше 10 м то расчет этих данных может проводиться косвенными методами. Модели и методы экстраполяции должны учитывать рельеф поверхности, а также стратификацию атмосферы. Оба этих фактора в большей степени подвержены изменениям во времени и пространстве. Поэтому при использовании методов экстраполяции можно учесть их только приблизительно. С их помощью можно определить приемлемые средние значения скорости ветра, а затем оценить с разумной точности энергетические ресурсы ветра и лишь приблизительно согласовать режим работы ВЭУ с неоднородностями полей скорости ветра на больших высотах.

Для экстраполяции изменения скорости на различных высотах часто используют две зависимости. Одна из них логарифмический профиль скорости.

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\ln(h_2/l_0)}{\mathrm{n}(h_1/l_0)}$$

где V_1 и V_2 – соответственно скорости ветра h_1 и h_2;

l_0 – высота элементов шероховатости.

Вторая зависимость – степенной закон Хелмана для профиля скорости

$$\frac{V_2}{V_1} = \left[\frac{h_2}{h_1}\right]^{\alpha}$$

где $h_1 -$ высота, на которой проведено измерение;

$h_2 -$ заданная высота;

$\alpha -$ безразмерный показатель степени, характеризующий вертикальный профиль скорости (постоянная Хелмана).

Значение α зависит от рельефа поверхности и стратификации атмосферы.

3.4 Методы оценки удельной мощности ветрового потока.

Кинетическая энергия движущейся массы воздуха (m) возрастает прямопропорционально квадрату ее скорости и в соответствии с выражением:

$$E = \frac{1}{2}\rho u^2 V$$

Где $\rho -$ плотность воздуха;

V – Объем движущегося объема воздуха

Если принять, что площадь S перпендикулярная ветровому потоку, за 1 с протекает объем воздуха V (равный S,u), тогда выражение для мощности ветрового потока N будет иметь вид:

$$N = \frac{1}{2}\rho u^3 S$$

Для запуска ВЭУ требуется определенное минимальное значение вращающегося момента лопастей, которое соответствует некоторому минимальному значению скорости ветра на уровне лопастей u_{min}. При скорости ветра, превышающей максимально допустимое значение для ВЭУ, определяемое техническими требованиями, их эксплуатация становится небезопасной. В этом случае требуется развернуть лопасти

относительно своей продольной оси таким образом, чтобы обеспечить резкое снижение ветровой нагрузки.

Удельная мощность ВЭУ выражается в следующих диапазонах работы:

$$N_e = \begin{cases} 0 \\ \eta_{\text{общ}}\,(N_e)\xi(z)0.6v^3A \\ N_{\text{ном}} \\ 0 \end{cases}$$

При малых скоростях ветра ($v < v_0$) ветродвигатель не работает, так что u = 0. Начиная с некоторой расчетной скорости ветра u_p производится регулирование работы двигателя таким образом, что при $v \geq v_p$ лопасти вращаются с одной и той де скоростью, то есть $v = v_p$. Наконец, начиная с $v = v_m$, двигатель во избежание аварии выводят из-под ветра, так что u = 0 при $v \geq v_m$.

где $\eta_{\text{общ}} -$ КПД преобразования механической энергии в электрическую;

ξ – функция отношения окружной скорости концов лопастей и скорости ветра;

Z – высота над поверхностью земли;

A – площадь поверхности охватываемой лопастями колеса;

$N_{ном}$ – номинальная (установленная) мощность ВЭУ;

u_{min} – скорость ветра, при котором происходит запуск ВЭУ;

$u_{ном}$ – скорость ветра, при которой происходит номинальная мощность ВЭУ;

u_{max} – скорость ветра, при которой происходит отключение ВЭУ.

Зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра схематически показана на рисунке 3.1.

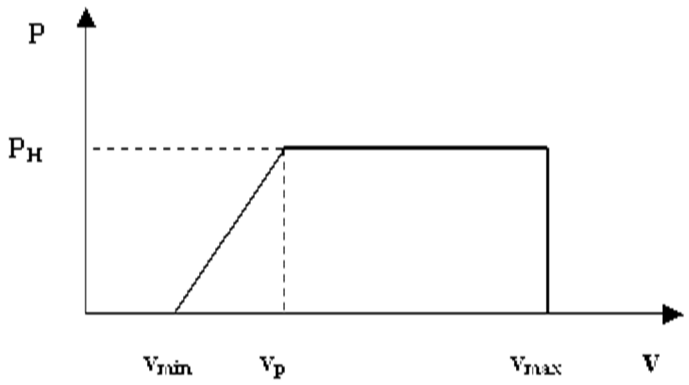

Рисунок 3.1 – зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра.

С ростом высоты плотность воздуха уменьшается, так что удельная мощность ветра становится меньше. Учитывая, что скорость ветра является случайной функцией времени, выражение для удельной мощности ветрового потока выглядит в общем виде следующим образом:

$$Ne = \frac{1}{2}\rho \int_0^{u_{max}} f(u)du$$

где f(u) – дифференциальная повторяемость скорости ветра по градациям.

Наиболее точно по сравнению с другими теоретическими распределениями в диапазоне скорости ветра 4 – 20 м/с данная функция аппроксимируется распределением Вейбулла – Гудрича для условий равнинной местности:

$$f(u) = \gamma/\beta(\frac{u}{\beta})^{\gamma-1} exp\left[-(\frac{u}{\beta})^{\gamma}\right]$$

где β и γ – параметры распределения, равные соответственно интегральной повторяемости и тангенсу угла наклона графика распределения на биографической клетчатке. Связано это с тем, что в данном распределении параметры β и γ – переменные, подбор которых осуществляется эмпирически на основе данных о повторяемости скорости ветра по градациям для конкретных пунктов. Значение Ne можно также вычислить по формуле:

$$Ne = 0.613(\bar{u})^3(1 + 3{C_u}^2 + A_u{C_u}^3)$$

Которую целесообразно использовать в том случае, если известны коэффициенты вариации C_u и ассиметрии A_u скорости ветра.

Практически равноценным по точности с вышеизложенными способами расчета Ne является способ расчета непосредственно по данным эмпирических распределений скорости ветра по градациям.

$$Ne_{\text{град}} = 0.613(u)^3 f(u)/100$$

где $Ne_{\text{град}} -$ теоретическая удельная мощность;

$f(u) -$ относительная повторяемость скорости ветра в данной градации.

Если размер градации не превышает 2 м/с, то принимаемую в расчет мощность определяем по верхней границе градации, если же размер градации скорости ветра превышает 2 м/с, то значения скорости берется по середине градации с округлением до целых в большую сторону.

Удельная мощность ветрового потока может оцениваться с помощью формулы:

$$Ne = \frac{1}{2}\rho\beta^3\Gamma(\frac{3}{\gamma} + 1)$$

где $\rho -$ плотность воздуха;

$\Gamma\left(\frac{3}{\gamma} + 1\right) -$ гамма функция.

Формула (2,16) получена путем подстановки (2,13) в (2,12). Как видно из формулы (2,16) мощность потока в значительной степени определяется параметром β, который зависит от значения математического ожидания карты скорости ветра $\bar{u}$:

$$\beta = \frac{\bar{u}}{\Gamma(1 + \frac{1}{\gamma})}$$

Математическое ожидание (средневзвешенное значение) представляет собой сумму произведений значений скорости ветра – их вероятность P_i:

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^{n} P_i = 1$$

Параметр γ может определяться графически с помощью клетчатки.

Для определения Ne по формуле (2,16) выполняется следующий порядок действий:

1. По значениям дифференциальной повторяемости скорости ветра f(u) рассчитывают интегральную повторяемость F(u);

2. Строится график дифференциальной повторяемости скорости ветра по градациям f(u) в равномерном масштабе;

3. По формуле (2.17) оценивается математическое ожидание скорости ветра.

4. На клетчатку наносятся значения интегральной обеспеченности скорости ветра F(u>x), по которым с помощью метода наименьших квадратов рассчитывается параметр γ (значение F(u>x), определяют путем последовательного суммирования соответствующих значений f(u)).

5. По формуле (2.17) определяется значение β. Здесь используется свойство гамма функции $\Gamma(x) + 1 = x\Gamma(x)$, с учетом которого определяется значение Ne по формуле (2.16).

3.5 Оценка эксплуатационных показателей ВЭУ при известных характеристик режима ветра.

Оценим общую мощность суммарного (полного) ветрового потока Nп:

$$N = \frac{1}{2}\rho \bar{u}_{\text{п}}^3 S$$

где ρ – плотность воздуха;

$\bar{u}_{\text{п}}^3 -$ средний куб скорости ветра, определяемый по данным наблюдений;

$S -$ площадь сечения ветрового потока.

Рассчитаем полную энергию ветра (или общую энергию), имеющий вид:

$$Q_{\text{п}} = \frac{1}{2}\rho \bar{u}_{\text{п}}^3 ST$$

где T – определенный промежуток времени (год, полугодие, месяц).

Тогда средняя производительность ветроагрегата $\bar{A}$ можно представить в формуле:

$$\bar{A} = \frac{\bar{u}_{u_0}^3 - u_{\text{ном}} - u_{max}}{u_{\text{ном}}^3} NeT$$

где Ne – номинальная мощность

$u_0 -$ начальная скорость ветроколеса;

$u_{\text{ном}} -$ скорость регулирования;

$u_{max} -$ максимальная скорость;

$\bar{u}_{u_0}^3 - u_{\text{ном}} - u_{max} -$ средний куб скорости в диапазоне рабочих скоростей;

$(u_{max} > u > u_{0)}$ при

$$\bar{u}_{u_0}^3 - u_{\text{ном}} - u_{max} = u_{\text{п}}^3 \left[I(x_{\text{ном}}, m) - I(x_0, m) + \frac{u_{\text{ном}}^3}{u^3} f(u_{max} > u > u_{\text{ном}}) \right]$$

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

$$x = \left(\frac{u}{\beta}\right), m = \frac{3}{\gamma} + 1$$

β и γ – параметры функции Вейбулла;

Γ(m) – полная гамма функция;

$f(u_{max} > u \geq u_{\text{ном}}) -$ повторяемость диапазона номинального режима.

Расчет выработки ВЭУ по данным наблюдений на метеорологических станциях следует производить по формуле вида:

$$w = \sum_{u_i=u_0}^{u_i=max} N_i T_i$$

W – выработка ВЭУ;

$N_i -$ мощность агрегата, развиваемая при скорости ветра u_i (u_i изменяется дискретно и определяется как среднее значение для градации);

$T_i -$ число часов работы агрегата при скорости ветра за рассчитываемый период времени.

3.6 Косвенный метод расчета непрерывной продолжительности скорости ветра выше заданного значения и энергетических «затиший».

Как упоминалось в главе 1, к числу важнейших характеристик ветрового режима относится средняя непрерывная продолжительность скорости ветра выше (ниже) заданного значения $\tau(u \geq u_0)$. Изменение скорости ветра во времени дает ответ на вопрос: каково время простоя ВЭС в случае отсутствия ветра, как долго могут сохранятся преобладающие скорости ветра и как часто ВЭС достигает своей номинальной мощности выходной.

Существует по крайней мере три различных способа оценки характеристик $\bar{\tau}(u \geq u_0)$. Выбор того или иного способа зависит от характера исходной информации. Наиболее простым и удобным является линейное уравнение вида:

$$\tau(u \geq u_0) = 0.7\bar{u} + 0.09F(u > u_0) - 0.06$$

где $\bar{u} -$ средняя скорость ветра;

$F(u > u_0) -$ интегральная повторяемость выше заданного значения.

Для большинства конструкций ВЭУ начальная скорость составляет 5 м/с.

В тех же случаях, когда информация о скорости ветра ограничена одной лишь средней скоростью $\bar{u}$, для расчета $\bar{\tau}(u \geq u_0)$ рекомендуется использовать уравнение номинальной регрессии:

$$\bar{\tau}(u \geq u_0) = 28.2 - 34.3\frac{u_0}{\bar{u}} + 18.6(\frac{u_0}{\bar{u}})^2 - 4.4(\frac{u_0}{\bar{u}})^3 + 0.37(\frac{u_0}{\bar{u}})^4$$

Если скорость ветра не превышает 6 м/с, то формулы (2,23) и (2,24) дают близкие результаты. При больших значениях скорости $\bar{u}$ предпочтение отдается формуле (2,23), как более точной. Для детальных оценок ветрового режима в связи с оптимизацией работы ВЭУ нужно иметь также сведения об интегральной повторяемости различных градаций непрерывной продолжительности скорости ветра выше заданного значения $F(u > u_0)$. Данную характеристику можно вычитать с помощью известного уравнения Вейбулла – Гудрича:

$$F(u > u_0) = e^{-\beta\tau(\frac{\tau_0}{\tau})^{\gamma\tau}}$$

Параметры распределения $\beta\tau$ и $\gamma\tau$ определяются с помощью выражений:

$$\beta\tau = 1.46 - 0.83\left(\frac{u_0}{u}\right) + 0.0032F(u > u_0) + 0.0059\left(\frac{u_0}{u}\right)^2 - 0.000037[F(u > u_0)]^2$$

$$\gamma\tau = 0.912 + 0.0236\left(\frac{u_0}{u}\right) + 0.0086F(u > u_0) + 0.0156\left(\frac{u_0}{u}\right)^2 - 0.000059[F(u > u_0)]^2$$

Зная параметры распределения $\beta\tau$ и $\gamma\tau$, а также вычисленное по формуле (2.23) значение $F(u > u_0)$ можно определить интегральную повторяемость $F(\tau \geq \tau_0)$ с помощью выражений (2,25 – 2,28).

Не менее важными, чем данные о непрерывной продолжительности активной скорости ветра, является данные о так называемом энергетическом «затишье». Структура «затиший» играет определенную роль при оценке развиваемых ВЭС мощностей. Если «затишья» имеют продолжительность менее 24 часов, то их можно компенсировать с

помощью аккумулирующих устройств с различным запасом энергии. Если «затишья» более суток, то для их компенсации должны быть предусмотрены резервные мощности.

Расчет средних значений непрерывной продолжительности оценивается следующим путем по формуле:

$$F(u > u_0) = \tau(u \geq u_0)\frac{100 - F(u > u_0)}{F(u \geq u_0)}$$

Помимо приведенных выше характеристик ВЭР для более рационального использования ВЭУ учитывают и другие.

Например, $\bar{n}\tau -$ среднее число периодов с непрерывной продолжительностью $\tau(u \geq u_0)$, то есть:

$$\bar{n}\tau = \frac{F(u \geq u_0)T}{\tau\rho(u \geq u_0)}$$

где Т – продолжительность временного интервала в часах (за год 8760 ч, полугодие 4380 ч, месяц 720 ч);

$\tau\rho -$ максимальная непрерывная продолжительность скорости ветра, возможная в заданное число лет, которая рассчитывается по формуле:

$$\tau\rho = (u \geq u_0)\left\{\frac{ln[n(u > u_0)g}{\beta\tau}\right\}^{1/\gamma\tau}$$

где g – число лет.

Если на расчетные параметры скорости ветра $\bar{u}$ и $F(u \geq u_0)$ не влияет изменение числа сроков наблюдений в сутки, то характеристики непрерывной продолжительности $\bar{\tau}\rho(u \geq u_0)$, $\bar{\tau}\rho(u < u_0)$, $n\rho$ и $\tau\rho$ существенно зависит от дискретности наблюдений. Изложенные выше методы непрерывной продолжительности соответствуют ежечасной дискретности.

Для большей или меньшей степени дискретности, полученные по формулам (2.23), (2.29) и (2.30) результаты следует вводить поправки.

$$lg\left(\frac{100\bar{\tau}}{\bar{\tau}24}\right) = \left(1.99 - 0.68lg\frac{n}{24}\right)\%$$

Суммарное время работы ветроагрегата t_p находится по формуле:

$$t_p = \frac{F(u \geq u_0)T}{100}$$

где $F(u \geq u_0) -$ вероятность превышения начальной скорости ветроагрегата;

Т – период превышения.

Суммарная длительность простоев ВЭУ имеет вид простого соотношения:

$$t_n = \mathrm{T} - t_p$$

где $t_n -$ суммарная длительность простоев;

$t_\mathrm{p} -$ суммарное время работы ветроагрегата.

4

4. Оценка эффективности предприятий ветроэнергетики в Узбекистане

4.1. Функции распределения скорости ветра.

В качестве исходной информации при определении климатических характеристик для ветроэнергетики на территории Узбекистана были использованы данные повторяемости различных скоростей ветра по градациям, по месяцам с 1936 по 1963 годы на метеостанциях Тамды и Шерабад. Наблюдения за ветром на станции проводились по Анемометру М – 63 на высоте 10 метров.

На начальном этапе рассчитаем интегральные функции распределения скорости ветра по градациям F(u), показывающие вероятность скорости ветра выше определенного значения. По результатам расчета построим графики. На рисунке 3.1. и 3.2. представлены интегральные распределения скоростей ветра для станций Тамды и Ширабад.

Проанализировав графики можно отметить, что вероятность скорости выше 5 м/с, а именно с этой скорости ВЭУ начинает вырабатывать энергию, составляет:

Для станции Тамды зимой – 50%, весной – 48%, летом – 47%, осенью – 35%

Для станции Ширабад зимой – 34%, весной – 36%, летом –23%, осенью – 24%

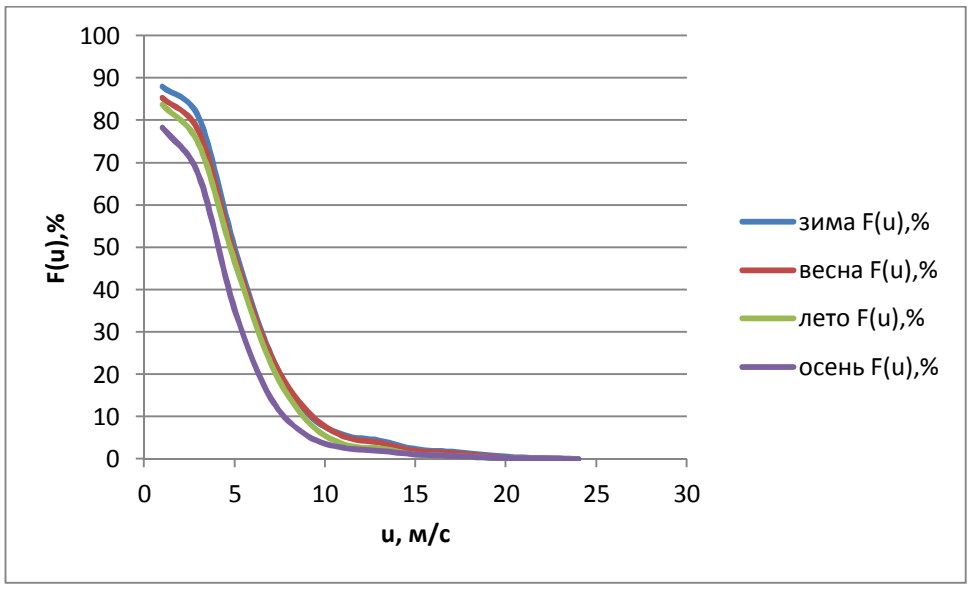

Рис. 4.1 – интегральные кривые распределения скорости ветра на станции Тамды.

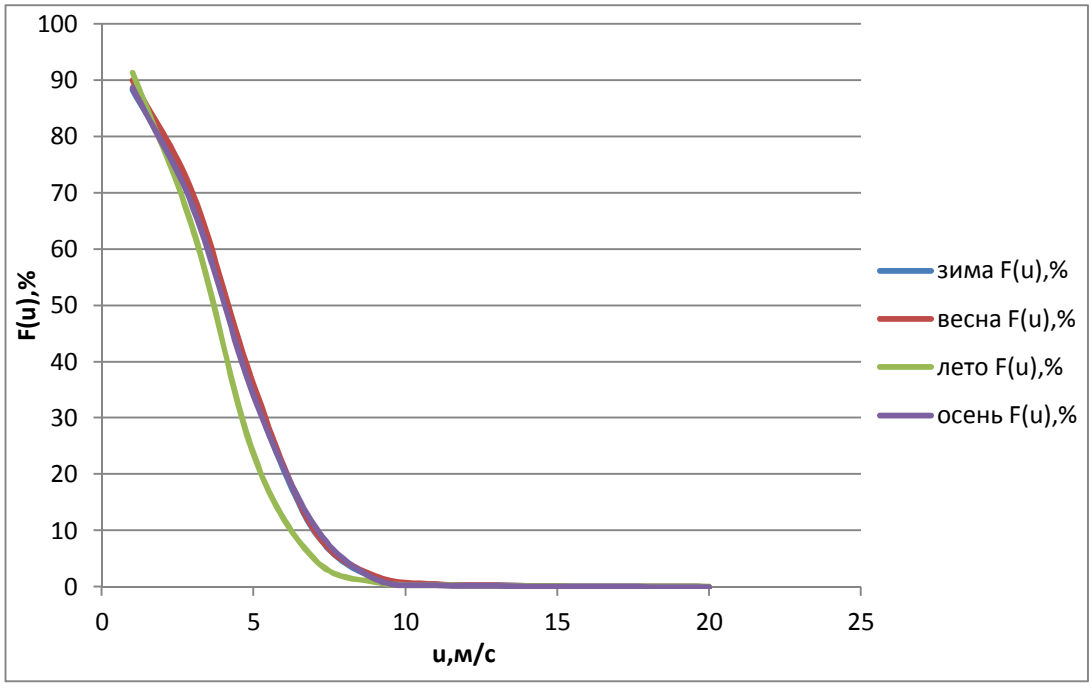

Рис. 4.2 – интегральные кривые распределения скорости ветра на станции Ширабад.

Следующий этап работы заключается в экстраполяции значений скорости ветра различной вероятности (обеспеченности). С этой целью распределение скорости ветра экстраполируем в сторону редко наблюдаемых скоростей ветра. Для этого выбираем аппроксимирующую функцию и затем предполагаем, что закон изменения скорости ветра в дальнейшем не

меняется. На основании начального этапа аппроксимации интегральные функции распределения, в качестве функции приведем видоизмененную формулу Вейбула – Гудрича, предложенную для аппроксимации наблюдаемого распределения повторяемости скорости ветра с помощью экспоненциальной функции, для этой цели была применена формула (2.3). В данной формуле используется параметр распределения β и γ.

Существует два метода определения этих параметров:

1. Аналитический, по данным задается обеспеченность и по формуле определяется скорость ветра с заданной обеспеченностью;
2. Графический.

В данной работе используется графический метод, с помощью сетчатки определяем значение β и γ и представим их в таблице 3.2.

Таблица 4.1 – Значения параметров β и γ

Сезон	станция Тамды		станция Ширабад	
	β	γ	β	γ
Зима	6,5	2,0	5,0	1,8
Весна	6,2	1,8	5,1	2,4
Лето	6,1	2,1	4,6	2,1
Осень	5,0	1,9	5,0	2,7
Среднегодовые	6,0	2,1	4,9	2,1

Зная численные значения β и γ, построим теоретические функции распределения, после чего сопоставим с фактическим распределением с помощью критерия Колмогорова λ.

Можно сказать, что теоретическое распределение хорошо согласуется с фактическим, так как $\lambda_{факт}$ меньше $\lambda_{крит}$. При этом целесообразно

использовать распределение Вейбула – Гудрича для описания скорости ветра.

4.2. Ветроэнергетический потенциал

Расчет ветроэнергетического потенциала для рассматриваемых сезонов проводился по данным эмпирических распределений скорости ветра по градациям. Для этой цели была использована формула (2.15).

Сравнение данных (приложение) показывает, что одинаковые значения норм скоростей на станции Тамды $u_{\text{ср}} = 3.7, u_{\text{лето}} = 3.7$, и на станции Ширабад $u_{\text{осень}} = 2.8, u_{\text{зима}} = 2.8$, имеют практически одинаковые значения характеристик ветроэнергопотенциала. Наибольшее значение средней скорости ветра ветроэнергетического потенциала приходится на зиму на станции Тамды и на весну на станции Ширабад. Осенью на станции Тамды и летом на станции Ширабад отмечена наименьшая скорость ветра – 2,8 м/с на станции Тамды и 2,1м/с на станции Ширабад и соответственно наименьшая удельная мощность ветрового потока.

Помимо подсчета по градациям удельная мощность ветрового потока определялась аналитическим методом с использование данных о параметрах распределения β и γ в уравнении Вейбула – Гудрича: $Ne = \frac{1}{2}\rho\beta^3\, {}^3/_{\gamma}\, \Gamma({}^3/_{\gamma})$

Для оценки общей мощности суммарного (полного) ветрового потока $N_п$ используем формулу (2.19). Общую (полную) энергию ветра за период T рассчитаем по формуле (2.20). Тогда среднюю производительность ветроагрегата оцениваем по формуле (2.21).

Таблица 4.2 значение общей энергии и общей мощности суммарного ветрового потока.

Сезон	Станция Тамды	Станция Ширабад

	$N_n, Вт$	$\bar{Q}_n, кВт$	$N_n, Вт$	$\bar{Q}_n, кВт$
Зима	9548	20624	3041	6569
Весна	8866	19577	3379	7460
Лето	7017	15118	1915	4126
Осень	4127	9014	3041	6642
Год	7017	61472	2727	23887

Таблица 4.3 – значение средней производительности ветроагрегата

Сезон	Станция Тамды	Станция Ширабад
	$\bar{A}, кВт/ч$	
Зима	2239	244
Весна	1974	223
Лето	1194	105
Осень	351	163
Год	13065	1947

Максимальное значение $\bar{A}$ приходится на зиму в обеих станциях.

Заключение

Представленная работа посвящена проблеме ветроэнергетики Узбекистана. Узбекистан – горно-равнинная страна с жарким климатом. Развитие альтернативных источников энергии, включая ветроэнергетику, стоит остро. Решение этой проблемы поможет защитить страну от выбросов оксидов серы, азота и от выделения больших объемов тепловой энергии в результате сокращения теплоэнергетического производства.

В процессе выполнения работы были собраны общие сведения о ветроэнергетике, о технических особенностях ВЭУ, влиянии метеорологических факторов на их размещение.

Также для рационального размещения ВЭУ были изучены физико-географические и климатические особенности Узбекистана. Основной упор был сделан на изучение движений воздушных масс в атмосфере на территории Узбекистана.

Были представлены основные методы определения климатических характеристик ВЭУ, что позволит оценить и проанализировать перспективность размещения ВЭУ.

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

1. Малая длительность энергетических затиший;
2. Возможно более продолжительный диапазон энергоактивных скоростей;
3. Отсутствие ураганов;
4. Малая изменчивость скорости ветра по времени;

Для получения всех этих данных воспользуемся параметрами распределения скорости ветра по градациям опорной метеостанции.

В данной дипломной работе были использованы данные о повторяемости различных скоростей ветра по градациям, за различные месяцы с 1936 по 1963 годы. Для сравнения были выбраны две станции:

- Станция Тамды, которая находится в Навоийской области и обусловливается пустынно-горной местностью.
- Станция Шерабад, которая находится в Сурхандарьинской области и обусловливается горно-равнинной местностью.

Для опорных станций были рассчитаны

Интегральные кривые распределения скорости ветра

Удельная мощность ветрового потока с учетом распределения скорости ветра по градациям

- Аналитический метод удельной мощности ветрового потока
- Режим характеристик ветра до высоты 50 метров
- Значения общей энергии ветрового потока
- Общей мощности суммарного ветрового потока
- Значения средней производительности ветроагрегата

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы.

В данных районах ВЭУ может работать достаточно эффективно. Наибольшее значение удельной мощности для станции Тамды приходится на зимний период, а для станции Шерабад на весенний. Максимальное значение ветроэнергетического потенциала приходится на зимний период в обеих станциях.

Наиболее эффективным в ветроэнергетическом отношении является станция Тамды, это объясняется наименьшими энергетическими затишьями и наибольшими выработками ВЭУ ветроэнергии. Средняя производительность ветроагрегата в зимние месяцы значительно превышает значения, полученные в другие месяцы на обеих станциях.

В процессе расчета получены значения общей энергии и общей мощности суммарной энергии, также были получены значения средней

производительности ветроагрегата. Результатты расчетов представлены в таблице.

Таблица

Значение общей энергии и общей мощности суммарного ветрового потока и средней производительности ветроагрегата

Сезон	Станция Тамды			Станция Ширабад		
	$N_n, Вт$	$\bar{Q}_n, кВт$	$\bar{A}, кВт/ч$	$N_n, Вт$	$\bar{Q}_n, кВт$	$\bar{A}, кВт/ч$
Зима	9548	20624	2239	3041	6569	244
Весна	8866	19577	1974	3379	7460	223
Лето	7017	15118	1194	1915	4126	105
Осень	4127	9014	351	3041	6642	163
Год	7017	61472	13065	2727	23887	1947

В целом эти районы можно рассматривать как перспективные для целей ветроэнергетики.

В дальнейшем будет произведена оценка рационального размещения ветроэнергетических установок по территории Узбекистана.

Список использованных источников

1. "Метеорология и гидрология" 1978 №7 – 129с.
2. Научно – прикладной справочник по климату Узбекистана "Ветер", выпуск 19. Ленинград Гидрометиздат 1989г.
3. Энциклопедия климатических ресурсов РФ [текст] / ред.: Кобышева Н.В., Хайрулин К.Ш. – СПБ.: Гидрометиздат, 2005. – 39с.
4. Определение непрерывной продолжительности метеорологических явлений по нерегулярным наблюдениям / Бирман Б.А., Пертик В.Г. – Труды ВНИИГМИ, выпуск 40, 1978г.
5. Вертикальные профили ветра и температуры в нижних слоях атмосферы, Борисенко М.М., труды ГГО. Выпуск 368.
6. Климатологическая обработка метеорологической информации, Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. – Л. Гидрометиздат, 1978г.
7. Справочник по математике, Бронштейн И.И., М: Наука, 1986г.
8. Прикладная климатология, сборник трудов В.С. / под ред. д-р. м.н. проф. Борисенкова Е.П., Л. Гидрометиздат, 1990г.
9. Рекомендация по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов. Главная геофизическая обсерватория им. Войекова А.И., и Научно – производственное объединение «Ветроэн», Ленинград Гидрометиздат, 1989г.
10. Метеорологические указания. «Проведение изыскательных работ по оценке ветроэнергетических ресурсов обоснования схем размещения и

проектирования ветроэнергетических установок», РД 52.04.275-89, М.: Госкомгидромет, 1991г.

11. Использование энергии ветра. М., «Энергия», 1975
12. Опыт разработки элементов малого ветроэнергетического кадастра Средней Азии и Казахстана. Ташкент, Издательство АН Уз.ССР, 1952.
13. Рекомендации по определению климатических характеристик ветроэнергетических ресурсов, Л.: Гидрометиздат 1969.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица повторяемости направления ветра и штилей (%) для станции Тамды

месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Январь	3	8	46	14	5	5	16	3	12
Февраль	2	8	44	12	6	6	19	3	10
Март	3	10	36	12	7	7	20	5	13
Апрель	6	14	31	10	7	7	19	6	15
Май	9	22	28	6	4	5	18	8	16
Июнь	16	23	20	5	2	5	18	11	14
Июль	22	23	15	4	2	5	16	13	16
Август	22	25	17	4	2	5	15	10	19
Сентябрь	12	19	29	6	2	8	16	8	28
Октябрь	5	11	36	12	4	8	17	7	21
Ноябрь	2	11	45	12	4	5	17	4	16
Декабрь	2	8	49	12	4	4	18	3	14
Год	9	9	33	9	4	6	17	7	16

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица повторяемости направления ветра и штилей (%) для станции Ширабад

месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Январь	34	29	5	1	3	7	2	19	12
Февраль	30	32	6	2	3	8	2	17	10
Март	28	31	7	3	5	9	2	13	10
Апрель	28	27	8	4	5	8	2	18	10
Май	28	19	7	8	10	9	2	17	10
Июнь	26	13	5	9	15	10	2	20	7
Июль	24	13	4	10	17	13	2	17	9
Август	25	14	5	7	18	13	2	15	9
Сентябрь	30	14	6	6	14	11	1	18	12
Октябрь	32	18	11	4	5	6	1	23	11
Ноябрь	33	24	8	1	4	6	1	24	11
Декабрь	32	29	6	2	3	5	2	21	13
Год	29	22	6	5	8	9	2	19	10

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Повторяемость скоростей ветра по градациям (%) от общего числа случаев на станции Тамды

Месяцы	Скорость 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
Январь	18,7	32,6	24,9	13,4	5,4	1,0	1,9	0,8	0,9	0,4	
Февраль	17,7	30,1	24,2	14,4	5,6	1,9	2,7	0,8	1,7	0,9	
Март	20,9	29,9	23,6	12,7	6,2	2,0	2,3	0,5	1,5	0,4	
Апрель	22,4	29,5	23,0	13,0	6,5	1,7	2,0	0,6	0,9	0,4	
Май	24,3	28,7	24,5	13,4	5,2	1,0	1,4	0,4	0,9	0,2	
Июнь	23,1	29,9	24,2	14,1	5,1	1,0	1,6	0,4	0,4	0,2	
Июль	24,1	25,6	25,4	14,5	6,3	1,1	1,7	0,5	0,7	0,1	
Август	29,3	28,4	22,3	12,0	5,2	0,8	1,0	0,2	0,6	0,2	
Сентябрь	40,1	29,3	18,8	8,1	2,3	0,5	0,4	0,1	0,3	0,1	
Октябрь	32,5	34,1	20,0	7,5	2,8	0,6	1,2	0,4	0,6	0,3	
Ноябрь	26,0	32,5	23,7	10,7	3,7	0,9	1,1	0,5	0,7	0,2	0,03
Декабрь	21,0	30,4	26,4	13,6	4,4	1,0	1,7	0,2	0,9	0,4	
Год	25,0	30,1	23,4	12,3	4,9	1,1	1,6	0,5	0,8	0,3	0,002

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Повторяемость скоростей ветра по градациям (%) от общего числа случаев на станции Ширабад

Месяцы	Скорость 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
Январь	32,5	35,7	23,3	7	1,1		0,2		0,04	0,1	
Февраль	29,8	32,5	26,1	9,9	1,2	0,2	0,2	0,04	0,04		
Март	29,4	32,2	26,4	9,7	1,6	0,3	0,3		0,1	0,04	
Апрель	28,9	32,5	27,5	9,2	1,4	0,04	0,2	0,1	0,1	0,04	
Май	32,6	37,2	23,1	5,3	1,5	0,1	0,1	0,04	0,04		
Июнь	30,5	39,5	21,5	6,5	1,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,04	
Июль	36,7	41	17,8	3,5	0	0,04			0,04	0,04	
Август	41,4	39,6	16,3	2,2	0,4	0,04		0,04		0,04	
Сентябрь	39,5	36,2	20,2	3,8	0,3		0,04				
Октябрь	31	31,6	23,9	11,9	1,1	0,2	0,2		0,1		
Ноябрь	27,5	32,5	25	12,6	2	0,1	0,2	0,04	0,04		
Декабрь	33,1	33,2	24,1	7,9	1,3	0,1	0,2		0,1		
Год	32,7	35,3	22,9	7,4	1,2	0,1	0,2	0,04	0,1	0,02	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Климатические показатели ветра на станции Тамды (1936 – 1963 гг.)

Характеристика	Градации 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	
Зима												
n	1863	3021	2450	1344	500	127	204	58	114	55	0	9736
f(u)	19,1	31,0	25,2	13,8	5,1	1,3	2,1	0,6	1,2	0,6	0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	5	19	29	23	11	28	12	35	24	0	163
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	19	29	23	8	13	4	7	3	0	103
Весна												
n	2239	2918	2355	1295	593	156	189	50	109	33	0	9936
f(u)	22,5	29,4	23,7	13,0	6,0	1,6	1,9	0,5	1,1	0,3	0,0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	5	18	27	27	13	26	10	33	14	0	159
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	18	27	27	10	12	3	7	2	0	104
Лето												
n	2534	2779	2381	1345	550	96	142	36	56	17	0	9936
f(u)	25,5	28,0	24,0	13,5	5,5	1,0	1,4	0,4	0,6	0,2	0,0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	5	18	28	25	8	19	8	17	7	0	128
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	18	28	25	6	9	2	3	1	0	92
Осень												
n	3230	3142	2048	862	288	66	88	33	52	20	0	9828
f(u)	32,9	32,0	20,8	8,8	2,9	0,7	0,9	0,3	0,5	0,2	0,0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	5	16	18	13	5	12	7	16	8	0	94
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	16	18	13	4	6	2	3	1	0	63
Год												
n	9855	11865,42	9224,28	4848,66	1931,58	433,62	630,72	197,1	315,36	118,26	0,7884	39420
f(u)	25,0	30,1	23,4	12,3	4,9	1,1	1,6	0,5	0,8	0,3	0,002	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	5	18	26	22	9	22	10	24	13	0	136
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	18	26	22	7	10	3	5	2	0	91

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Климатические показатели ветра на станции Ширабад (1936 – 1963 гг.)

Характеристика	Градации 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	
Зима												
n	3096	3291	2385	805	117	10	19	1	6	3	0	9736
f(u)	31,8	33,8	24,5	8,3	1,2	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	6	19	17	5	1	3	0	2	1	0	53
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	19	17	5	1	1	0	0	0	0	44
Весна												
n	3011	3375	2550	802	149	15	20	5	8	3	0	9936
f(u)	30,3	34,0	25,7	8,1	1,5	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	6	20	17	7	1	3	1	2	1	0	56
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	20	17	7	1	1	0	0	0	0	47
Лето												
n	3597	3978	1841	404	53	9	7	8	5	4	0	9906
f(u)	36,2	40,0	18,5	4,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	7	14	9	2	1	1	2	1	2	0	37
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	14	9	2	1	0	0	0	0	0	27
Осень												
n	3210	3286	2264	927	111	10	14	1	5	0	0	9829
f(u)	32,7	33,4	23,0	9,4	1,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	6	18	20	5	1	2	0	1	0	0	53
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	18	20	5	1	1	0	0	0	0	45
Год												
n	12890	13915	9027	2917	473	39	79	16	39	8	0	39404
f(u)	32,7	35,3	22,9	7,4	1,2	0,1	0,2	0,04	0,1	0,02	0	100
$Ne_{(град)}$ Вт/м^2	0	6	18	16	5	1	3	1	3	1	0	52
$Ne'_{(град)}$ Вт/м^2	0	0	18	16	5	1	1	0	1	0	0	42

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Режим характеристики ветра до высоты 50 метров на станции Тамды

Z, м	u_z/u_{10}	Cu_z $/Cu_{10}$	$Cu(z)$	Среднегодовые		Зима		Весна		Лето		Осень	
				$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2
5	0,89	1,09	0,7	3,6	225	3,6	217	3,3	177	2,8	108	3,3	168
10	1,00	1,00	0,64	4,1	253	4,0	243	3,7	199	3,1	121	3,7	189
20	1,14	0,92	0,59	4,7	288	4,6	278	4,2	227	3,5	138	4,2	216
30	1,23	0,85	0,54	5,0	311	4,9	299	4,6	244	3,8	149	4,6	233
40	1,3	0,78	0,5	5,3	328	5,2	317	4,8	258	4,0	157	4,8	246
50	1,37	0,73	0,48	5,6	346	5,5	334	5,1	272	4,2	166	5,1	259

Режим характеристики ветра до высоты 50 метров на станции Ширабад

Z, м	u_z/u_{10}	Cu_z $/Cu_{10}$	$Cu(z)$	Среднегодовые		Зима		Весна		Лето		Осень	
				$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2	$\bar{u}$, м/с	Ne,Вт/м^2
5	0,89	1,09	0,7	2,5	114	2,6	90	2,1	76	2,5	76	2,4	92
10	1	1	0,64	2,8	128	2,9	102	2,4	85	2,8	85	2,7	103
20	1,14	0,92	0,59	3,2	146	3,3	116	2,7	97	3,2	97	3,1	117
30	1,23	0,85	0,54	3,4	157	3,6	125	3,0	105	3,4	105	3,3	127
40	1,3	0,78	0,5	3,6	166	3,8	132	3,1	111	3,6	111	3,5	134
50	1,37	0,73	0,48	3,8	175	4,0	139	3,3	117	3,8	117	3,7	141