



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, экологии и природопользования

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология
(квалификация – бакалавр)

На тему Ветроэнергопотенциал Ставропольского края

Исполнитель Онюшко Максим Олегович

Руководитель к.с.х.н., доцент Цай Светлана Николаевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«22» Января 2021 г.

Туапсе
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Общая физико-географическая характеристика Ставропольского края.....	5
1.1 Особенности рельефа Ставропольского края	5
1.2 Циркуляция атмосферы.....	10
2 Статистические характеристики приземного ветра	13
2.1 Средняя скорость ветра, повторяемость условий погоды при различных направлениях и скоростях ветра	13
2.2 Среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации скорости ветра.....	25
3 Современный уровень ветроэнергопотенциала в России за рубежом	29
3.1 Ветроэнергетические установки в России и за рубежом.....	29
3.2 Удельная мощность приземного ветра и ее распределение по территории Ставропольского края	39
3.3 Экономическое обоснование развития ветроэнергетики	45
Заключение	51
Список использованной литературы.....	53

Введение

Рост цивилизации приводит к увеличению потребления энергетических ресурсов, большая часть которых связана с переработкой традиционных источников энергии. В силу их исчерпаемости, запасы их катастрофически сокращаются, кроме того, известно, что их эксплуатация грозит возникновением серьёзных экологических проблем.

Во всем мире все больше стран, особенно европейских, склонны продолжать поиски по использованию альтернативных источников энергии, исчерпаемость, которых не ограничены.

Особенно остро эта проблема стоит перед электроснабжением территории России. В последнее 30 летие в качестве экологически чистого неисчерпаемого источника энергии рассматривается энергия ветра. Однако все не так просто, Для внедрения новых технологий, должны быть решены многие проблемы, главные из которых: высокая стоимость ветроэнергетических установок, их способность надежно работать в автоматическом режиме в течение многих лет и обеспечивать бесперебойное электроснабжение.

Актуальность исследований обоснована тем, что достижения максимальной экономической эффективности ветрового режима, использование его особенностей и закономерностей в практической деятельности необходимо изучить взаимосвязь ветрового режима территории.

Объект исследования – ветровой режим

Предмет исследования - распределение ветра по территории Ставропольского края.

Цель исследований – оценить условия ветроэнергopotенциала Ставрополя.

Задачи:

изучить особенности орографии, как фактора существующего распределения ветра по территории;

-рассмотреть особенности распределения средней скорости ветра по территории ;

-рассчитать среднее квадратическое отклонение скорости ветра;

-рассчитать коэффициент вариации скорости ветра;

- удельную мощность ветрового потока.

1 Общая физико-географическая характеристика Ставропольского края

1.1 Особенности рельефа Ставропольского края

Западная и центральная части занимают наиболее приподнятую часть Ставропольской возвышенности и ее западный и северо-западный склоны. Господствуют степные и отчасти, в наиболее приподнятом участке возвышенности, лесостепные ландшафты. Степень земледельческой освоенности очень высока.

Выделение (обособление) Ставропольской возвышенности связано с существованием в средней части Предкавказья тектонического Ставропольского поднятия.

Однако следует подчеркнуть, что южная граница тектонической структуры Ставропольского поднятия не совпадает с южным краем Ставропольской возвышенности, что точнее, в свете современных данных, говорить о системе поднятий и что на юге Среднего Предкавказья нет полного соответствия орографических элементов тектоническим, а скорее даже наоборот — наблюдается известное несоответствие этих элементов [22, с.184].

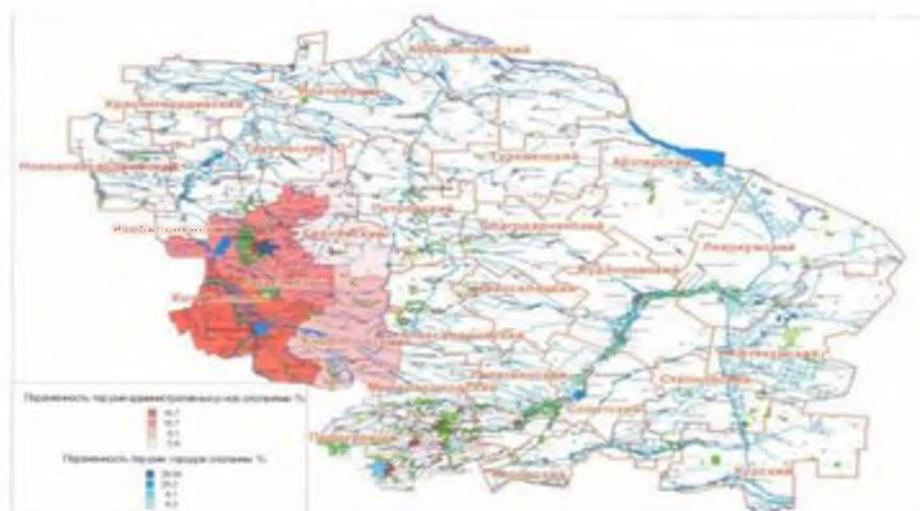


Рисунок 1.1 — Тектоническая структура Ставропольского края

Тектоническое Ставропольское поднятие отделено от Северо-Кавказской

моноклинали (район куэст Большого Кавказа) Беломечетской синклиналию, которая выражена в рельефе в виде возвышенности, расположенной северо-восточнее Черкесска и примыкающей к подножью куэсты. Вдоль оси Кубанского или Невинномысского антиклинория наблюдается понижение в современном рельефе, по которому проложена северо-кавказская железнодорожная магистраль. В западной части понижения располагается долина Кубани на отрезке Невинномысск — Армавир.

Поднятия Среднего Предкавказья ограничены с юга Беломечетской синклиналию, которая относится к передовому предгорному прогибу Большого Кавказа. Имея общекавказское простирание, она погружается в северо-западном направлении и, быстро расширяясь, переходит в Кубанскую депрессию Западного Предкавказья. Единую структурную зону она составляет и с Кумско-Терской депрессией [19, с.73].

Севернее Беломечетской синклинали простирается зона Невинномысская. Для этой зоны характерно наличие отчетливо выраженных вытянутых линейно антиклинальных складок, расположенных по отношению друг к другу в большинстве случаев кулисообразно. Крылья складок имеют довольно значительную крутизну, в ряде случаев измеряемую десятками градусов. Северное крыло антиклинория образует южный, местами» значительно приподнятый край Ставропольской возвышенности.

Основная часть возвышенности соответствует следующей более северной зоне — Ставропольской зоне антиклинальных поднятий платформенного типа. Эта зона характеризуется обширными по площади широкими поднятиями (до 20—25 и даже 50 км в длину и до 10—20 км в ширину), которые слабо вытянуты по простиранию и имеют очень пологие крылья (обычно не более 1—2°, нередко меньше 1°). Складки ориентированы широтно [1].

Складчатые структуры Ставропольской возвышенности являются активными, продолжающимися развиваться, о чем свидетельствуют данные повторных геодезических нивелировок.

По своему внешнему виду возвышенность местами напоминает горный

район с высокими платообразными массивами, которые расчленены глубокими долинами с террасовыми уступами. Характерны также округленные водоразделы, древние равнинные участки и депрессии.

Возвышенность сложена палеогеновыми и миоценовыми породами, площадь распространения которых на поверхности в средней части Предкавказья, отчетливо выявляющаяся на любой геологической карте среди поля верхнеогеновых и четвертичных пород, примерно соответствует очертаниям возвышенности [2, с. 89].

По своему рельефу, имеет куполообразного подъема в юго-западной части с довольно значительным крутым уступом на северо-запад, север и восток.

Расположенная в юго-западной части возвышенности, севернее Невинномысска, гора Стрижамент имеет отметку 832 м и является высшей точкой возвышенности. Так называемые Ставропольские высоты в окрестностях Ставрополя имеют наивысшие отметки около 650 м. Таких же примерно высот достигает и гора Недреманная, расположенная западнее Стрижамента и Ставропольских высот, т. е. ближе к Армавиру, на правом берегу Кубани. На северо-западе отметки снижаются до 200 м и менее и поверхность склона возвышенности здесь постепенно сливается с равнинной поверхностью Кубано-Приазовской низменности.

В юго-западной и центральной частях Ставропольской возвышенности выделяется ряд плосковерхих продолговатых массивов — столовых гор или плато трапециевидной формы с крутыми бортами. Они разделены между собой глубоко врезаемыми понижениями, в которых протекают ручьи и берущие здесь начало реки (в том числе Егорлык).

Платообразные массивы трапециевидной формы являются, останцами первичного рельефа поднятия, но вместе с тем могут быть рассматриваемы как структурные элементы рельефа, ибо все они увенчаны плотной покрывкой из средне- и верхнесарматских известняков, которая и обусловила сохранность фрагментов первичной поверхности [6, с. 89].

Прикрывающая толща известняков, иногда мощностью свыше 10 м, предохранила от выветривания и размыва нижележащие песчано-глинистые отложения, обусловив столообразные плоские формы возвышенных массивов; там же, где толща известняков оказалась размывтой, процессы эрозии создали глубоко врезаемые (на 100—200 м и более) отрицательные формы рельефа.

Типичным примером структурного плато, бронированного сарматским известняком-ракушечником, является гора Стрижамент.

Из других структурных форм рельефа на Ставропольской возвышенности встречаются асимметричные куэстоподобные водоразделы и сходные с долинами куэстовых областей асимметричные долины, а также структурные террасы [17, с. 48].

С последовательно шедшими поднятиями Ставропольской возвышенности при ее эрозионном расчленении связано образование уступов террас в ее долинах.

Исторически это сложилось, благодаря оползневым процессам, характерным при разнообразии литологических пород

Особенности рельефа района существенно отражаются на всех остальных компонентах географической среды и, в частности, на климате.

Склоны возвышенности, входящие в описываемый район, поднимаются на пути господствующих циклонических западных воздушных течений, приносящих влагу со стороны Атлантического океана.

Поэтому возвышенность получает заметно большее количество влаги, особенно в наиболее приподнятой части, чем, например, Кубано-Приазовская низменность в Западном Предкавказье. За год здесь выпадает от 600 до 800 мм осадков. Вследствие этого значительно изменяется соотношение тепла и влаги и создаются условия для существования лесостепных ландшафтов среди степных пространств склонов и подножья возвышенности [3].

Северо-восточное Ставрополье. Тектонически район соответствует зоне погружения Ставропольского поднятия к востоку и северо-востоку. Предполагают, что с востока Ставропольское поднятие ограничивается линией

проходящего на глубине разлома или сброса. С его наличием, видимо, связано резкое погружение Ставропольского поднятия к востоку. При этом погружении слои неогеновых отложений образуют флексурообразный изгиб, а мощность их в крыле Терско-Каспийской впадины сильно увеличивается.

В западной части района, наиболее приподнятой, на поверхность выходят третичные породы: сарматские глины, мергеля, песчаники и известняки. Среди отложений верхнего сармата наибольшую роль играют известковые песчаники и песчанистые известняки [23, с. 92].

Наряду со степными пространствами имеются и лесные массивы, в большинстве случаев приуроченные к склонам лакколлитов. Лесистость склонов многих лакколлитов особенно подчеркивает контраст между этими изолированными (островными) горными поднятиями и окружающим их открытым степным пространством.

Вулканические явления, возможно, были сопряжены с деятельностью эльбрусского вулканического очага и образованием эруптивов в Чегемо-Нальчикском районе на северном склоне Большого Кавказа.

Наибольшая из изолированных островных горных массивов Минераловодской группы — пятивершинная Бештау («пять гор»), поднимающаяся в окрестностях Пятигорска, имеет абсолютную высоту главной (центральной) вершины 1400 м.

В районе южнее Пятигорска расположены горы Джуца (1190 м) и Юца, или Болван, а несколько восточнее их, у Тамбуканского озера — Золотой Курган. Над самым Пятигорском поднимается Машук (993 м), а по правую сторону р. Подкумок, ниже Пятигорска — гора Лысая. Над курортом Железноводск высится гора Железная, а рядом с ней, севернее — гора Развалка. Между Железноводском и ст. Минеральные Воды поднимается массив горы Змейки (995 м). На запад расположены горы Бык и двухвершинный Верблюд.

Общее число таких обособленных гор-лакколлитов достигает восемнадцати. При абсолютной высоте равнины 500—600 м (в районе Кумагорока — 350 м, на юге, у Джуцы — 800—900 м) все горы довольно

значительно возвышаются над ней (относительная высота Бештау ок. 800 м), выделяясь среди степи лесистостью своих склонов [18, с. 138].

1.2 Циркуляция атмосферы

Разнообразие природных ландшафтов в Ставропольском крае обуславливает значительную пространственную изменчивость приземного ветра. Известно, что сила трения воздушного потока о подстилающую поверхность зависит от природно-растительной зоны. Она максимальна в лесной зоне, где мощная растительность и высокая степень мезошероховатости препятствуют усилению ветра. В степной зоне с типичной травяной растительностью влияние силы трения на поле ветра, наоборот, минимально [21, с. 178].



Рисунок 1.2 — Климатическая карта районов Ставропольского края

В западной и центральной части Ставрополя, несмотря на большее количество осадков в сравнении с окружающими равнинно-степными пространствами, район не лишен, однако, и тех неблагоприятных

климатических условий, которые свойственны сравнительно засушливым местностям и характерны почти для всего Предкавказья. Здесь бывают сухие пыльные и жаркие ветры-суховеи. При сильных ветрах, свойственных Ставрополью, происходит выдувание почвы, возникают черные земляные бури. Правда, эти неблагоприятные явления в более сильной степени выражены в восточной части Ставрополья, т. е. в следующем районе (Северо-Восточное Ставрополье).

Северный район занимает наиболее засушливую часть Ставрополья, приуроченную к северо-восточным и восточным склонам Ставропольской возвышенности, которые находятся как бы «в тени» по отношению к приносящим влагу западным циклоническим течениям и совершенно открыты восточным знойным суховеинным ветрам, идущим со стороны полупустынь и пустынь Прикаспийской низменности и в осенний период из Средней Азии. На территории этого района наблюдается постепенный переход от степных ландшафтов северо-восточной и восточной окраин предыдущего района к полупустынным ландшафтам Терско-Кумской низменности и Манычской ложбины. Господствуют засушливые условия и сухие степи.

Восточный склон значительно больше, чем предыдущий, подвержен климатическому влиянию полупустынь и пустынь Прикаспийской низменности. По отношению к западным циклоническим воздушным течениям он находится в барьерной тени, к тому же западные потоки воздуха на восточном склоне Ставропольской возвышенности опускаются, нагреваясь при этом и удаляясь от состояния насыщения.

Здесь еще более частыми бывают суховеи и пыльные бури.

Климат становится заметно континентальнее, снижаются зимние температуры (вследствие холодных северо-восточных ветров) и повышаются летние (амплитуда средних месячных температур составляет 27—30°), вместе с тем значительно уменьшается количество осадков (420—370 мм за год).

По климатическим условиям район лакколитов минераловодской группы мало отличается от соседних степных районов Предкавказья, однако на склонах

лакколитов усиливается конденсация влаги и выпадение осадков, что отражается в появлении лесной растительности на их склонах.

Особенно заметный эффект получается при групповом расположении лакколитов в центральной части района (гора Бештау и участок к северу от нее), где лесная растительность покрывает не только склоны лакколитов, но и равнинное пространство между ними (Бештаугорский курортный лесопарк).

В Железноводске за год выпадает 609 мм осадков, в Пятигорске — 514 мм. Максимальное количество осадков выпадает в начале лета. Мощность снежного покрова незначительна, так как минимум осадков приходится как раз на зимние месяцы. Число дней со снежным покровом около 752. На вершинах лакколитов, на их северных склонах снег лежит значительно дольше.

Средняя температура января $-4,2^{\circ}$ (Железноводск), $-4,8^{\circ}$ (Пятигорск), температура июля соответственно $20,6^{\circ}$ — $21,8^{\circ}$. Большая мягкость и влажность климата Железноводска в сравнении с Пятигорском объясняются не только большей абсолютной высотой метеостанции (почти на 200 м), но и более центральным положением Железноводска в группе лакколитов [12, с.56].

2 Статистические характеристики приземного ветра

2.1 Средняя скорость ветра, повторяемость условий погоды при различных направлениях и скоростях ветра

В данной работе расчеты элементов ВЭК проводились по специальной методике, изложенной в [4]. Они выполнялись за зимний (январь), весенний (апрель), летний (июль) и осенний (октябрь) месяцы и год в целом. Определялись следующие характеристики ветра и его энергии: средняя скорость ветра (V_c), коэффициент вариации (C_v), удельная мощность ветрового потока, среднее квадратическое отклонение скорости ветра.

Помимо высоты флюгера (10 м над землей) расчеты проводились и для других высот приземного слоя атмосферы [5, с. 49].

Статистические характеристики скорости ветра являются важными критериями, позволяющими давать предварительную оценку ветроэнергopotенциала [4]:

$$V_c = \left(\sum_{i=1}^k \Delta V_i P_i \right) / \sum_{i=1}^k P_i, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\left\{ \left[\sum_{i=1}^k (\Delta V_i - V_c)^2 P_i \right] / \sum_{i=1}^k P_i \right\}}, \quad (2)$$

$$C_v = \sigma / V_c$$

где V_c , м/с – средняя скорость ветра,

σ , м/с – среднее квадратическое отклонение,

C_v – коэффициент вариации;

ΔV_i , P_i - середина i -й градации скорости ветра и ее повторяемость.

Исходной информацией послужили статистические данные скоростей ветра в течение многолетних наблюдений (1936-1965гг.) [10].

Обработка многолетних метеорологических наблюдений на сети станций

и анализ ее результатов позволяют изучить климатический режим территории только непосредственно у земной поверхности. В частности, ветровой режим исследуется по данным измерений на метеостанциях только на высоте 10 м над землей. В таблице 2.1 представлены результаты расчета статистик приземного ветра на высоте 10 метров.

Таблица 2.1 — Средняя скорость ветра, м/с

№	Метеостанция	Месяц				Год
		I	IV	VII	X	
158	Красногвардейская	5,9	5,5	3,5	5,0	5,5
161	Арзгир	3,5	3,7	2,8	2,9	3,2
166	Ставрополь	5,3	5,5	3,6	5,2	5,5
173	<u>Кнан</u>	5,9	5,5	3,5	5,3	5,8
1775	Ачикулак	3,0	3,8	3,4	3,0	3,5
181	<u>Шаджатмаз</u>	3,5	3,8	3,5	3,0	3,3
182	<u>Бермамыт</u>	5,3	5,2	3,5	5,2	5,0
183	Архыз	1,8	1,8	1,7	1,6	1,8
187	Минеральные воды	5,0	5,5	3,7	3,7	3,9
195	Пятигорск	3,2	5,0	2,8	3,2	3,3
196	Кисловодск	2,0	3,5	2,3	2,5	2,5

Судя по данным таблицы наименьшая скорость в годовом ходе наблюдается в самом стабильном в метеорологическом отношении в городе Кисловодске КМВ(2.5м/с.), который расположен относительно в низине и окружен со всех сторон невысокими возвышенностями. В столице Ставрополя в годовом ходе скорость ветра в городе достигает до 5.5 м/с.

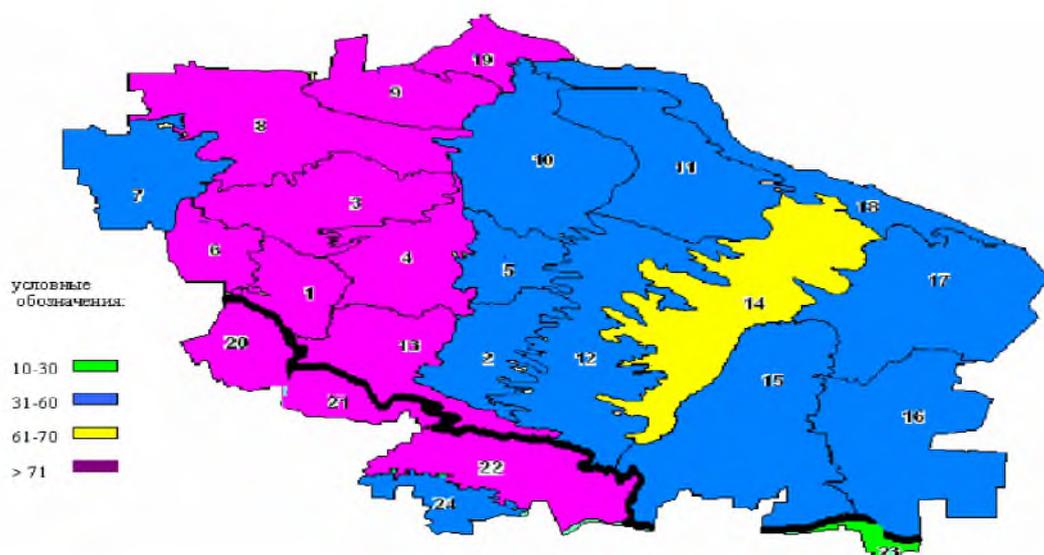
По известной шкале сильным ветер считается более 15 м/с. Но истории известны, когда здесь в отдельные годы порывы ветра достигают более 25 м/с отмечено в 1982 г. Их было 13.

Порывы ветра 40 м/с в городе Ставрополе зафиксированы за столетие всего несколько раз.

Ветер с максимальной скоростью 25 м/с и более считается опасным явлением, поскольку может причинить ущерб, увеличивая нагрузку на линии электропередачи и высотные сооружения. Такой силы, ветер наблюдается с 58%-ной вероятностью, то есть один раз в полтора года.

Они дают возможность оценить силу и изменчивость ветра. Они дают возможность оценить силу и изменчивость ветра по территории и в течение года. Заметно, что среднегодовые скорости ветра у земли максимальны на станции Киан, где он составляет 3,5-4,9 м/с.

И достигает минимального значения на станции Архыз – до 1,6 в осенний период. Это связано с тем, что станция Архыз, в отличие от станции Киан, находится в низменности гор и максимально защищена со всех сторон. Распределение по территории коэффициента вариации скоростей ветра, зафиксированных в стандартные сроки наблюдений, имеет обратный ход (по сравнению с V_c) (рисунок 2.1).



Ландшафты равнин Предкавказья

Провинция лесостепных ландшафтов

Ландшафты типичных лесов

1. Верхнегорлыкский

2. Прикалаусско-Саблинский

Ландшафты байрачных лесостепей

3. Ташлянский

4. Грачевско-Калаусский

5. Прикалаусско-Буйволинский

Провинция степных ландшафтов

6. Егорлыкско-Сенгилеевский

7. Расшеватско-Егорлыкский

8. Среднегорлыкский

9. Бурукшунский

10. Нижнекалаусский

11. Айгурский

12. Карамык-Томузловский

13. Кубано-Янкульско-Суркульский

Провинция полупустынных ландшафтов

Ландшафты Терско-Кумской низменности

14. Левокумский

15. Правокумско-Терский

16. Курско-Прикаспийский

17. Нижнекумско-Прикаспийский

Ландшафты Кумо-Маньчской впадины

18. Чограйско-Прикаспийский

19. Западно-Маньчский

Ландшафты Большого Кавказа

Провинция предгорных степных и лесостепных ландшафтов

20. Прикубанский

21. Воровсколесско-Кубанский

22. Подкумско-Золкинский

23. Малкинско-Терский

Провинция среднегорных ландшафтов лесостепей и остепненных лугов

24. Кубано-Малкинский

Рисунок 2.1 — Максимальное число дней с сильным ветром по краю

Из полученных данных видно, что максимальные скорости ветра приходится на январь и апрель.

В основном - это станции Красногвардейская (от 4,5 до 4,9 м/с), Ставрополь (от 4,3 до 5,4), Киан (от 4,9 до 5,5). Все эти станции находятся в равнинной части Ставрополя, граничащей с Краснодарским краем. На высокие показатели скорости ветра здесь оказывает свое влияние Черное море.

Таблица 2.2 — Максимальное месячное и годовое число дней с сильным ветром в г. Ставрополе

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Число дней	15	16	12	13	12	8	6	7	8	16	13	10	79
Год	1989	1984	1983	1996	1979	1999	1982	1996	1985	1987	1981	1988	1996

Летом (июль) по сравнению с зимой (январь) средние скорости и средние квадратические отклонения снижаются примерно на 25%. На величине S_v годовой ход практически не сказывается.

Между тем, ветроколесо современных ветроагрегатов может быть расположено на любой высоте - от 3-5 до 50-100 м над землей. Поэтому задача вертикального восстановления ветра и ветровых ресурсов на этих высотах является для ветроэнергетики достаточно актуальной.

До сих пор она не имеет точного решения и на практике приходится прибегать к различного рода косвенным методам, которые способны дать лишь ориентировочные оценки.

Приведенные в данной работе результаты расчетов статистических и энергетических параметров ветра основаны на взаимосвязи средней скорости ветра и коэффициента вариации у поверхности земли и на уровне 50-метрового слоя атмосферы, в зависимости от условий подстилающей поверхности [4,с.72].

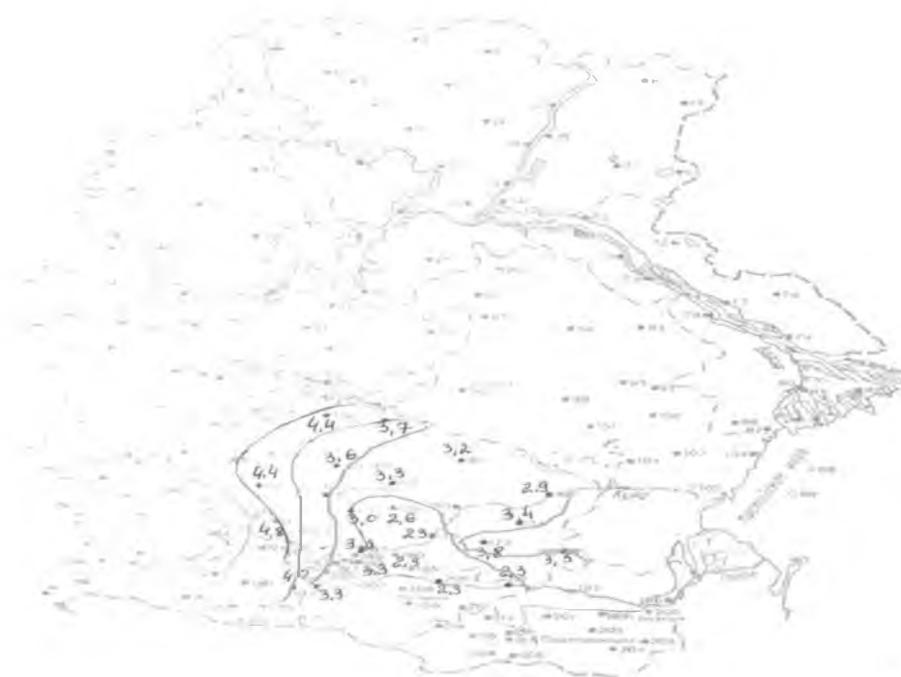


Рисунок 2.2 — Фоновая карта-схема средней скорости ветра

На фоновой карте нанесена средняя скорость ветра по результатам многолетних наблюдений на 11 станциях по данным за год. По имеющимся расчетам были проведены изотермы.

Отсюда видно, что максимум приходится на равнинную часть Ставрополя, а именно на станциях Красногвардейская (где средняя скорость ветра за год 4,4 м/с), Ставрополь (со средней скоростью 4,4 м/с), Киан (с средней скоростью 4,8 м/с) и Шаджатмаз (со скоростью 4,0 м/с). По всей видимости, это связано с влиянием ветров, приходящих с Черного моря.

Минимальные скорости ветра наблюдаются в юго-восточной части, которая расположена ближе к Кавказскому хребту.

В основном, это станции, расположенные в низменности предгорья и защищенные с обеих сторон горами, которые влияют на скорость ветра: Пятигорск (со средней скоростью 3,3 м/с), Кисловодск (со скоростью 2,5 м/с) и Архыз (со скоростью 1,8 м/с).

А это, как известно, одни из наиболее востребованных городов курортов Кавказских минеральных вод, где наиболее востребованы воздушные суда, а

при их эксплуатации особенно при взлете и посадке очень важны скорости и направления ветра.

Ветровой режим города Ставрополь характерен местными особенностями, которые безусловно зависят от географического положения и орографией местности.

В годовом ходе максимум наблюдается в теплый период года, а умеренные и сильные ветры – в переходные и зимние месяцы. За рассматриваемый тридцатилетний период сильные ветры со скоростью более 15 м/с наблюдались преимущественно в январе (рисунок 2.3).

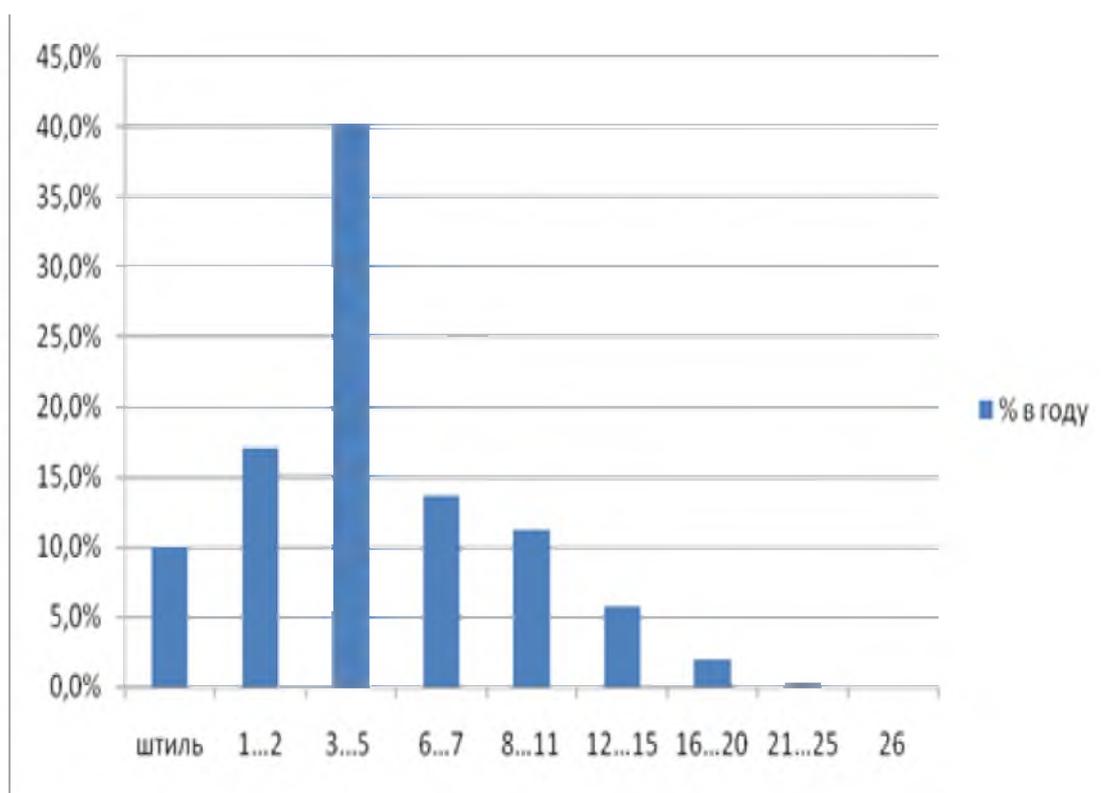


Рисунок 2.3 — Повторяемость ветра по градациям скорости

Ветры как известно вызывают сильную турбулентность, а по известным данным авиационной метеорологии все воздушные суда имеют свои параметры скорости и направления ветров. Средние данные за последние годы с 1999-2018 о повторяемости скорости ветра при различных градациях указывает таблица 2.3.

Таблица 2.3 — Результаты частоты ветра в числителе – по скорости число случаев, а в знаменателе – %

Месяцы Скорость, м/сек	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
штиль	61,2	66,2	66,6	62,6	74,2	84,6	116,2	103,4	67,2	78,8	28,0	63,0	884,0
	8	10	8	8	10	13	16	14	8	11	4	8	10
1 – 2	118,4	124,0	81,8	80,6	108,4	143,8	174,8	166,6	124,0	134,4	88,8	114,2	1483,8
	16	18	12	13	14	20	24	22	17	18	14	14	17,1
3 – 4	231,2	241,0	264,8	248,8	300,4	324,2	330,2	328,8	318,6	323,4	263,8	344,2	3434,4
	31	36	34,7	36	40	44	44	44	44	43	37	47	40,3
6 – 7	87,6	82,0		107,6	84,0	74,6	67,2	77,4	87,2	101,6	140,6	113,6	1180,0
	13	14	17	14	13	11	8	11	14	14	20	14	13,6
8 – 11	114,4	84,0	112,8	86,4	88,0	43,2	44,6	48,4	77,2	67,8	118,2	73,4	882,4
	16	12	14	13	12	7	6	7	11	8	16	10	11,2
12 – 14	66,2	47,2	46,8	70,6	47,4	24,4	8,6	14,8	30,6	34,2	44,0	28,0	484,8
	8	7	8	10	8	4	1	2	4	4	7	4	4,7
16 – 20	40,6	21,0	22,2	32,4	18,6	2,0	0,2	2,6	4,0	2,8	14,2	4,6	167,2
	4	3	3	4	3	0	0	0	1	0	2	1	1,8
21 – 24	11,2	0,6	2,4	-	-	0,2	0,2	-	0,2	-	0,4	-	14,6
	2	0	0,3	-	-	0	0	-	0	-	0	-	0,2
26	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8
	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
сумма	744	677	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8764

На работу авиации ветер оказывает существенное влияние. Для каждого типа воздушного судна существуют свои определенные ограничения по скорости ветра. На рисунке 2.4 дана повторяемость ветра по направлениям.

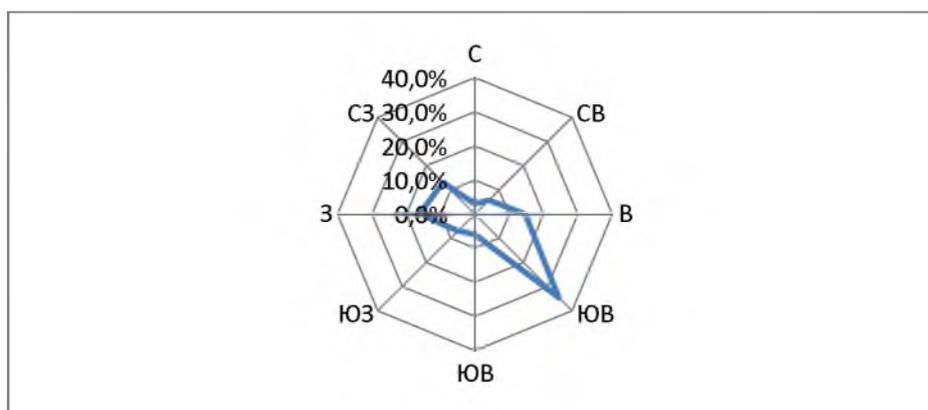


Рисунок 2.4 — Повторяемость ветра по направлениям (среднее число случаев за 1993-2013 гг, %)

Судя по розе ветров (рисунок 2.4, и таблица 2.3) основная доля приходится на ветры юго-восточного и западного направления. Наибольшую

повторяемость в среднем за год имеют Более 40,3%, случаях, наблюдаются ветры со скоростью 3-5 м/с, т.е среднее количество случаев. Штилей бывает не более 10% случаев, а со скоростью 6-7 м/с и 8-11 м/с до 13,6%.

В отдельные годы при прохождении холодных фронтов ветры могут достигать 30 м/сек и более, так в октябре 1999 г, зарегистрирована скорость ветра 38 м/сек .

Максимум скорости ветра наблюдается днем и часто при прохождении фронтов., а минимум ночью и под утро составляют сильные западные ветры, связанные с прохождением холодных фронтов. Годовой ход повторяемости ветра различных направлений и средняя скорость ветра по различным направлениям представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 — Средняя скорость ветра по направлениям (м/с)

Месяцы Направление ветра	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
С	3,3	3,8	3,1	3,5	3,6	3,4	3,8	1,6	3,0	1,6	3,0	1,8	3,4
СВ	3,9	3,3	3,4	3,8	3,5	3,8	3,5	3,8	3,6	3,5	3,5	3,3	3,8
В	9,3	4,4	3,9	8,9	8,3	4,3	3,8	3,9	5,5	4,8	6,6	3,0	5,4
ЮВ	6,1	6,9	8,9	5,8	5,3	4,4	4,8	4,8	5,5	5,5	6,3	5,1	5,8
Ю	3,4	3,6	3,3	3,5	3,4	3,3	3,1	3,1	3,1	3,3	3,3	3,4	3,6
ЮЗ	4,3	3,8	5,3	3,4	3,3	3,1	3,0	3,4	3,5	3,3	3,8	3,3	3,6
З	8,8	8,0	8,5	6,5	5,9	5,8	4,1	3,8	4,3	5,3	6,1	6,8	6,0
СЗ	5,0	5,9	6,0	3,8	3,9	3,6	3,4	3,1	3,3	4,0	6,8	3,8	4,4
Средняя за месяц	5,0	4,6	5,0	4,4	4,3	3,8	3,3	3,3	3,8	3,6	4,8	3,8	4,1

Судя по данным таблицы 2.4,средняя скорость ветра в году составляет 4,1 м/с , на 0,3 м/с меньше средней многолетней (4,4 м/с).

Самая высокая скорость ветра наблюдалась в январе и марте до 5 м/с, что связано с увеличением барических градиентов в холодный период, , а самая низкая летом, в июле и в августе до 3,0 -3,4 м/с.

В среднем за год наибольшую скорость имеют Наиболее сильные дуют западные ветры - 6 м/с, а скорость относительно частых юго-восточных ветров составляет 5,7 м/с. Остальные северные, южные и северо-восточные

ветры обозначены небольшими средними скоростями (2,4-2,8 м/с), что объясняется экранирующим влиянием Кавказских гор.

Направление ветра зависит от повторяемости общих циркуляционных процессов и орографии местности. Ставропольские высоты и особенно высокие Кавказские горы на юге вносят существенные изменения в атмосферную циркуляцию.

Если разложить по градациям направление ветров в регионе: на юго-восточные ветры - 34,6%, на западные ветры почти в два раза меньше - 16,1%, а восточные и северо-западные ветры почти одинаковую повторяемость - соответственно 14,6% и 13,1%.

Реже всего северные ветры - 2,9% , чуть больше северо-восточные - 5,7% , южные - 6% и юго-западные - 7% .

Анализ данных направлений ветров по сезонам указывают на то, что юго-восточные ветры имеют максимальную повторяемость в холодный период (в XII – 51,2%), минимальную – летом (в VI – 14,2%), что, как указывалось ранее, объясняется особенностями синоптических процессов теплого и холодного периодов.

Наибольшая повторяемость юго-восточных ветров наблюдается при скорости 3-5 м/сек (максимум в XII – 26,9%, минимум – в VII 5,6%), повторяемость градаций скорости 6-7 и 8-11 м/сек почти вдвое меньше (максимум в XI – 13,4 -11,3%).

Скорости ветра более 12 м/с, имеют наибольшую повторяемость (4,5-6,3%), во второй половине зимы и ранней весной, летом их повторяемость не более 1% и скорость не превышает 15 м/с. Повторяемость юго-восточных ветров со скоростями 21-25 м/с и более 25 м/с очень мала (менее 1%) отмечается в январе - марте.

Наибольшая повторяемость восточных ветров отмечается весной, в апреле (32,4%) преобладающая скорость ветра – 3-5 м/сек – наблюдается зимой в 2-3% всех случаев, летом и весной в 6-9% случаев. Повторяемость сильных ветров более 15 м/сек, восточного направления наиболее часто наблюдается в январе (4,5%), реже в марте и апреле (3-2%), в остальные месяцы такой ветер

практически отсутствует. В январе была отмечена и самая большая скорость восточного ветра 21 -25 м/сек (повторяемость 1,2%).

Западные ветры сравнительно равномерно распределены в течение года, повышенная повторяемость отмечается в апреле и сентябре (20-22%). Градация скорости 3-5 м/сек, является преобладающей почти во все месяцы, за исключением января, в котором наибольшую повторяемость имеет, градация скорости 8-11м/сек (4,7%). В январе отмечается максимальная повторяемость (1,1%) сильных западных ветров более 15м/сек, в теплый период повторяемость сильных ветров очень мала (0,1-0,5%).

Наибольшая, за рассматриваемый тридцатилетний период, скорость западного ветра 25 м/сек, была отмечена также в январе (повторяемость 0,1%). Северо-западные ветры, как и юго-восточные ветры, являются боковыми и создают определенные трудности в работе авиации, но повторяемость их значительно меньше.

В годовом ходе отмечается увеличение повторяемости северо-западных ветров от зимы к лету (минимум в I-3,9%, максимум в VI – 23%), как уже отмечалось, это связано с влиянием северо-восточного отрога азорского антициклона. Наибольшая повторяемость северо-западных ветров отмечается при градациях скорости 3-5 и 0-2 м/сек.

Скорости ветра более 11 м/сек, наблюдаются редко (0,1-0,7%) и преимущественно в холодный период года, достигая максимума повторяемости в ноябре (2,5%) и не превышая при этом 20 м/сек.

Повторяемость бокового ветра к ВПП северного и южного направлений при скорости более 7 м/сек мала (меньше 0,5%), поэтому эти ветры практически не создают трудностей в работе авиации. Юго-восточные и северо-западные ветры образуют с направлением ВПП угол от 50 до 80 градусов. Зимой и весной нередко (4-6 %) наблюдаются, юго-восточные ветры со скоростью 12 м/сек и более, что приводит иногда к нарушению регулярности полетов. Повторяемость сильных ветров при северо-западном направлении составляет меньше 0,5 %.

Юго-западные и северо-восточные ветры направлены почти вдоль ВПП,

повторяемость их мала. Юго-западные ветры имеют большую повторяемость в холодный период года (максимум в 11-9,9%), а северо-восточные ветры - в теплый период (максимум в VII-9,5%), преобладающие скорости при этих направлениях до 5 м/сек.

Скорость ветра более 7 м/сек, при северо-восточном направлении отмечается в 0,1-0,4% случаев, при юго-западном направлении – в 0,1-0,9% случаев. В холодный период года (IX) скорость ветра при юго-западном направлении может достигать 20-25 м/с, но повторяемость таких ветров очень мала (0,1%). Самые сильные ветры северо-восточного направления, не превышают 15 м/сек (повторяемость 0,1%).

Северные и южные ветры которые почти перпендикулярны к направлению ВПП имеют свою повторяемость, при северных ветрах повторяемость невелика, в среднем за год составляет 2,9%, максимальная повторяемость отмечается в июле (9%). Скорости северного ветра в основном не превышают 5 м/сек и только в редких случаях (0,1-0,5%) усиливаются до 6-11 м/сек. Северного ветра со скоростью более 11 м/сек за рассматриваемый тридцатилетний период не наблюдалось.

Повторяемость южных ветров сравнительно небольшая (6%), максимальная повторяемость отмечается в феврале (13,3%), преобладающими являются, скорости до 5 м/сек. Повторяемость южных ветров более 7 м/сек в холодный период не превышает 0,3%. Скорость ветра более 11 м/сек не отмечалась.

Таким образом, северные и южные ветры, несмотря на то, что они почти перпендикулярны к направлению ВПП, практически не создают трудностей в работе авиации, так как повторяемость их мала, а скорости ветра при этом в редких случаях усиливаются, до 8-11 м/сек.

Исходными данными являются сведения о повторяемости различных градаций скорости ветра. На основании этих данных, путем последовательного суммирования повторяемостей справа налево, рассчитывается интегральная

вероятность F того, что скорость ветра превысит за – данный предел U.

В таблицах 2.4, 2.5, 2.6. дается повторяемость (%) сложных условий погоды в зависимости от скорости ветра. Проценты, указанные в данных таблицах, рассчитаны от количества случаев за месяц условий погоды различной степени сложности.

Таблица 2.5 — Повторяемость (%) сложных условий погоды К 50х0,5 при различных скоростях ветра

Месяцы Скорость	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	
													ч.сл.	%
Штиль	8	11	6	11	20	-	-	-	-	18	21	6	37,2	11
1–2	24	14	11	10	-	60	-	-	40	9	14	12	52,0	15
3–5	31	43	37	32	60	40	-	-	60	37	30	54	129,6	38
6–11	29	23	35	47	20	-	-	-	-	18	25	18	90,2	27
>12	8	9	11	-	-	-	-	-	-	18	10	10	31,0	9

Сложные условия погоды в среднем за год отмечаются в основном при слабых ветрах до 5 м/сек (для К50х0,5 – 38%, для К100 х1 – 26%, для К200х2 – 34%), но в холодную половину года в 9-10% случаев могут наблюдаться при скоростях ветра более 12 м/сек.

Таблица 2.5 - Повторяемость (%) сложных условий погоды К 100х1 при различных скоростях ветра

Месяцы Скорость	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	
													ч.сл.	%
Штиль	8	8	10	12	20	-	-	10	-	14	12	2	60,2	9
1–2	19	10	12	11	20	40	-	10	10	18	14	10	95,4	12
2–5	27	40	21	20	52	50	-	80	60	41	20	50	250,6	26
6–11	41	28	26	25	8	10	-	-	20	22	21	29	232,8	22
>12	5	4	20	21	-	-	-	-	-	4	12	8	71,0	10

Таблица 2.6 - Повторяемость (%) сложных условий погоды К 200х2 при различных скоростях ветра

Месяцы Скорость	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год	
													ч.сл.	%
Штиль	6	6	8	9	8	22	-	27	9	9	9	2	89,2	7
2 – 2	24	8	22	7	32	22	20	27	7	29	22	9	253,4	22
3 – 5	28	33	26	34	43	50	80	52	56	38	28	46	467,4	34
6 – 22	44	49	40	32	25	26	-	25	28	28	39	36	545,4	39
> 22	8	4	25	29	3	2	-	-	-	6	23	7	228,6	9

Повторяемость сложных условий погоды при южных и юго-западных ветрах мала, в среднем за год составляет 5-6%, что обуславливается орографией прилегающей местности.

При северных и северо-восточных ветрах повторяемость сложных условий погоды также невелика (7-11%), как отмечалось раньше, это связано с большой повторяемостью ветров данных направлений

Все результаты исследований повторяемости сложных условий погоды позволили установить, что наибольшие сложности наблюдаются при боковых ветрах со скоростью более 8 м/сек. В среднем за год сложные условия погоды отмечаются при юго-восточных ветрах более 8 м/сек в 150 случаях, при северо-западных ветрах – в 38 случаях, при северных ветрах – в 3 случаях, при южных ветрах – в 7 случаях.

2.2 Среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации скорости ветра

Исходя из полученных данных и проведенных расчетов, представленных в таблице 2.7 можно сделать вывод: чем больше средняя скорость ветра, тем больше его среднее квадратическое отклонение и наоборот, чем меньше средняя скорость - тем меньше отклонение.

Таблица 2.7 — Среднее квадратическое отклонение скорости ветра, м/с

№	Метеостанция	Месяц				Год
		I	IV	VII	X	
158	Красногвардейская	4,2	4,5	3.2	3.8	4.1
161	Арзгир	3,1	3,5	2.7	2.8	3.0
166	Ставрополь	4,8	4,5	3.6	4.4	4.6
173	Киан	4,3	4,9	3.3	4.3	4.4
174	Ачикулак	2,9	3,9	3.2	3.3	3.5
181	Шаджатмаз	3,1	3,0	2.3	2.4	2.8
182	Бермамыт	4,1	3,6	2.8	3.7	3.2
183	Архыз	2,0	1,7	1.6	1.8	1.9
187	Минеральные воды	5,8	3,7	3.0	3.2	3.4
194	Пятигорск	3,1	3,4	2.4	2.9	3.0
196	Кисловодск	2,3	3,0	2.2	2.7	2.6

По данным многолетних наблюдений, из полученных расчетов за год видим, что наибольшее отклонение наблюдается на станциях Красногвардейская (4,1 м/с), Киан (4,4 м/с) и Ставрополь (4,6 м/с).

Наименьшее среднеквадратическое отклонение скорости ветра наблюдаются в горной и предгорной местностях. Это станции Архыз (1,9 м/с), Шаджатмаз (2,8 м/с) и Кисловодск (2,6 м/с).

Таблица 2.8 — Коэффициент вариации скорости ветра, %

№	Метеостанция	Месяц				Год
		I	IV	VII	X	
158	Красногвардейская	86	90	95	95	93
161	Арзгир	91	94	96	96	93
166	Ставрополь	1.10	83	1.06	1.04	1.04
173	Киан	87	89	94	95	91
174	Ачикулак	96	102	94	1.1	1.02
181	Шаджатмаз	91	79	66	80	84
182	Бермамыт	95	85	82	88	87
183	Архыз	1.11	94	94	1.12	1.05
187	Минеральные воды	1.45	82	88	86	87
194	Пятигорск	96	85	85	90	90
196	Кисловодск	1.15	88	95	1.12	1.04

Там, где средняя скорость ветра максимальна там тоже максимальное отклонение, а коэффициент вариации минимален. Коэффициент вариации рассчитывается по данным средней скорости ветра и среднеквадратического отклонения.

Все эти расчеты проводятся для того, чтобы определить стабильность скорости ветра или его изменчивость во времени. Из таблицы видно, что исключением является Ставрополь, где максимальные скорости ветра и максимальный коэффициент вариации, составляющие 104%. Такие отклонения связаны с влиянием большого города и его инфраструктуры.

Они позволяют судить о том, в каких районах стабильная скорость ветра, а в каких изменчива во времени. Наименее стабильные ветра наблюдаются в северо – западном районе на станциях Минеральные воды (87%), Шаджатмаз (84%), Бермамыт (87%), Киан (91%), Арзгир (93%) и Красногвардейская (93%).

А наиболее стабильные ветра наблюдаются в юго-восточной части (свыше 100%)(рисунок 2.5).

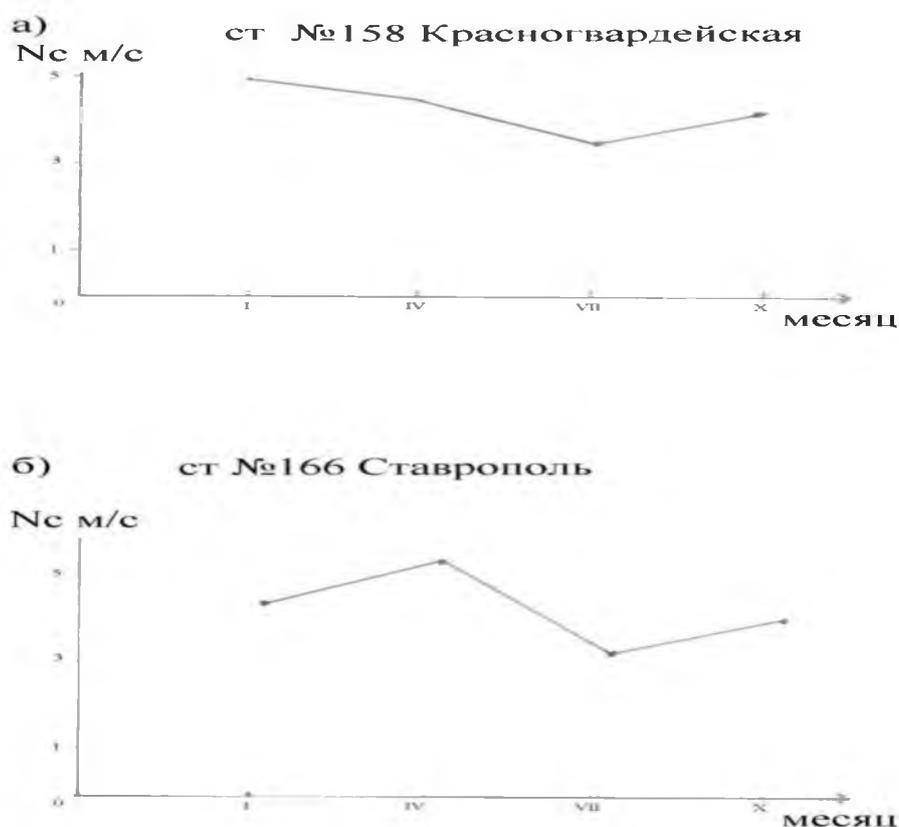


Рисунок 2.5 — Годовой ход статистических характеристик ветра

Исходя из полученных данных средних скоростей ветра за год, были построены графики, где видно, что в юго-западной части края максимальная скорость ветра приходится на апрель и составляет 4,5 м/с на станции Ставрополь (рисунок 3 б), а в северо-восточной - на январь и составляет 4,2 м/с на станции Красногвардейская (рисунок 3 а). Минимумы наблюдаются в летний период (июль) и достигают 3,2 и 3,6 м/с соответственно. Среднее месячное и годовое число дней приведено в таблице 2.8.

Таблица 2.8 — Среднее месячное и годовое число дней с ветром

Ландшафты	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VIII	IX	X	XI	XII	год
Провинция полупустынных ландшафтов													
Правокумско-Терский	8	6	7	9	10	8	8	8	5	4	4	3	57
Левокумский	11	6	11	10	8	10	8	10	5	6	6	5	64
Курско-Прикаспийский	6	12	11	9	7	5	4	6	7	8	3	5	50
Нижнекумско-Прикаспийский	11	6	11	10	8	10	8	10	5	6	6	5	64
Чограйско-Прикаспийский	9	7	11	11	12	10	13	9	9	7	5	9	60
Западно-Манычский	10	17	13	13	13	8	8	8	7	11	10	10	88
Провинция степных ландшафтов													
Егорлыкско-Сенгилеевский	15	16	12	13	12	8	6	7	8	16	13	10	79
Расшеватско-Егорлыкский	7	11	13	6	6	2	3	2	3	4	4	5	35
Среднегорлыкский	9	18	15	15	8	5	7	6	5	12	10	8	74
Бурукшунский	10	17	13	13	13	8	8	8	7	11	10	10	88
Нижнекалауский	10	13	8	8	8	5	3	3	5	5	4	5	38

Здесь четко прослеживается, что меньшая скорость ветров наблюдалась в летний период, и значительно больше в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль). Градации по провинциям варьируют от 35 до 88 как в степных, так и в полупустынных ландшафтах.

3 Современный уровень ветроэнергopotенциала в России за рубежом

3.1 Ветроэнергетические установки в России и за рубежом

Задача перехода на использование альтернативных источников в 21 веке стоит наиболее остро.

Одно из главных причин, это истощение традиционных источников, которые являются исчерпаемыми, и вторая ухудшение экологической ситуации во всем мире. В этой связи, судя по статистике многие страны, особенно крупные мировые державы инвестируют средства на поиски более дешевых, а самое главное изучают взаимосвязь метеорологических условий для использования различных видов оборудования, которые могут создать конкуренцию традиционным источникам энергии (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 — Распределение мощностей ветроэлектростанций в мире(%)

Развивающиеся научные исследования в этих областях и направления создали огромное количество всевозможных установок со своими плюсами и минусами. Трудно сказать какой из видов альтернативных источников: солнечная энергия, ветровая энергия, или энергия приливов и отливов получают сегодня более широкое распространение. Но говоря о взаимосвязи метеорологических и условий и выбора технологий, вполне однозначно выбор за благоприятным метеорологическим и условием.

Учитывая то обстоятельство, что ВЭУ вполне успешно могут быть выгодно размещены на территориях со среднегодовой скоростью ветра более 5 м/сек установлено точно. Кроме того, они нисколько не уступают по многим показателям с традиционными источниками электроснабжения. Об этом свидетельствуют амбициозные планы ежегодного прироста их мощностей (рисунок 3.2).

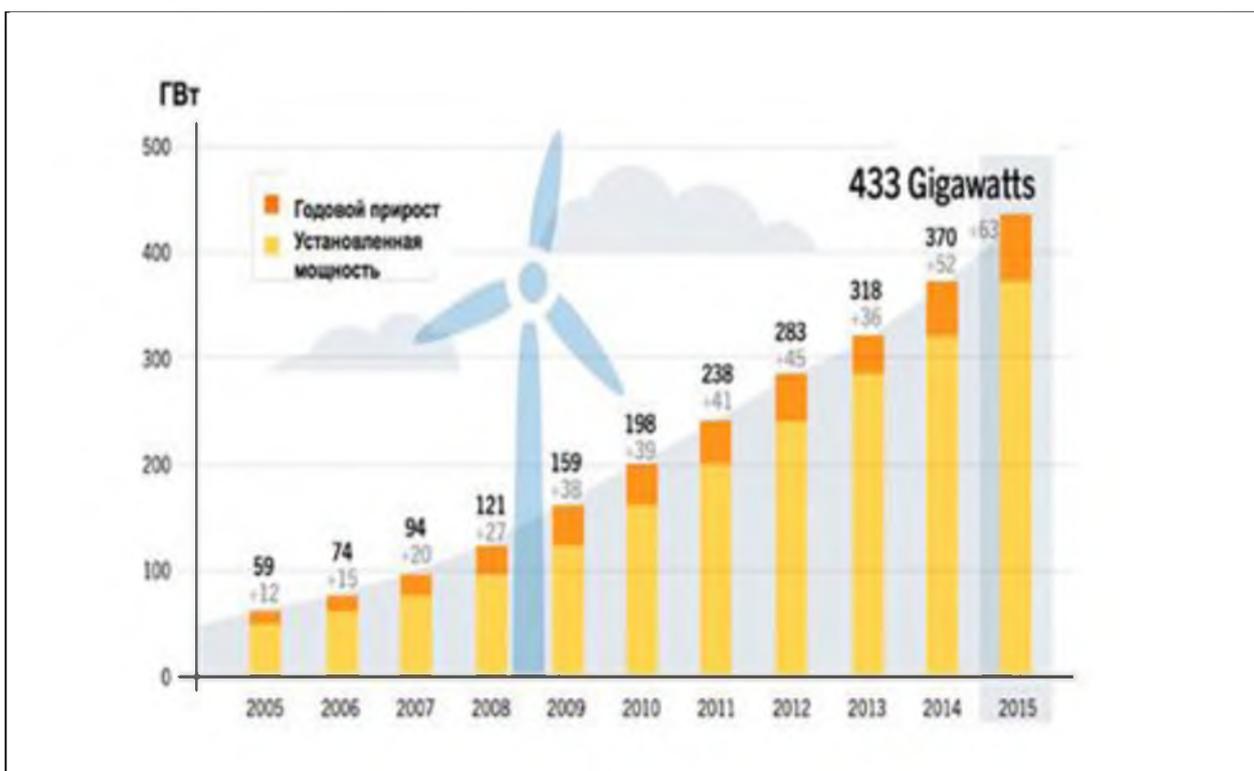


Рисунок 3.2 — Общая установленная мощность ВЭУ и годовой прирост до 2015 года

Основное предназначение всех установок, это преобразование энергии ветра в механическую, электрическую или тепловую. Однако по вполне понятным причинам, в их выборе, большую роль играет сама конструкция их энергетическая мощность, сила ветра и наконец их потенциальная стоимость (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 — Внешний вид современных ВЭУ

Важное в конструкции ВЭУ это профессиональное проектирование: не верно рассчитанный фундамент, может свалиться при сильном ветре, а размеры лопастей, должны строго соответствовать высоте башни, чем выше башня, тем больше должны быть лопасти [4,с.75].

Предельная высота башен около 200метров, относительно крупные достигают 80-150м.

Ученые установили, что повышение башни на каждые 10м энергетическая мощность повышается на 35%.

Не менее важный фактор, это предел прочности сплава металлов из которого изготавливается башня.

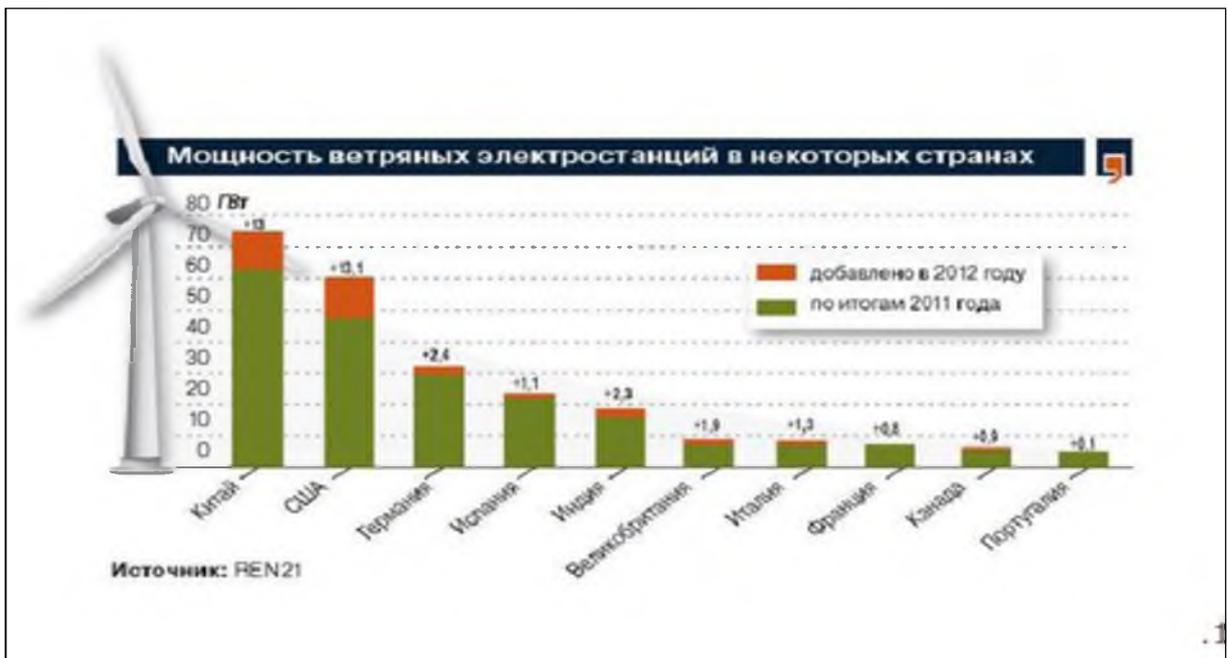


Рисунок 3.4 — Мощность ветряных станций современных ВЭУ

В современной практике в отличие от 10 лет назад, мощность составляет от 100 до 500 кВт, а стоимость колеблется в пределах 700-1200\$/кВт, причем цены продолжают снижаться.

Тип ветротурбины	Коэф. ξ	рисунок
Крыльчатая с горизонтальной осью вращения параллельной потоку воздуха (классическая)	0,593	
Карусельная крыльчатая ветротурбины с вертикальной осью перпендикулярной направлению движения потока	0,41	
Роторная карусельная с осью перпендикулярной направлению движения потока	0,192	

Рисунок 3.5 — Типы ветротурбин по коэффициенту полезного действия

Из всевозможных существующего разнообразия, широкое

распространение получили ветроэнергетические установки с горизонтальной осью ротора, принцип работы которых основан схожесть с ветряной мельницей.

Они обладают высокой быстроходностью, и максимальным коэффициентом использования энергии ветра -0,46-0,48.

Несколько меньшей эффективностью — 0,45 характеризуются ветротурбины с вертикальным расположением оси, но их преимущество в том, что они не нуждаются в настройках по направление ветра.

Благоприятные условия для развития энергетики позволят к 2020 г. увеличить потребление электрической энергии на 30%, в том числе за счет возобновляемых источников энергии на 15%.

В таблице 3.1 приведены соотношения стоимости электроэнергии и скорости ветра для выработки электроэнергии различными возобновляемыми источниками энергии в странах Европы по оптимистическим и пессимистическим прогнозам до 2020 года.

Таблица 3.1 — Соотношение стоимость электроэнергии/скорость ветра

Параметры	Ситуация 1	Ситуация 2	Ситуация 3
Среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м	5,0-5,8 м/сек	5,5-6,4 м/сек	6,0-7,0 м/сек
Количество энергии, вырабатываемой ветроагрегатом	650кВтч	825 кВтч	1140 кВтч
Стоимость электроэнергии	0,046 ЕКУ/кВтч	0,036 ЕКУ/кВтч	0,026 ЕКУ/кВтч

При составлении прогноза стоимости ветровой энергии были учтены следующие 6 показателей :

- инвестиций в производство ветроагрегата выражается как отношение \$/кв. м
- цена одного кв. метра площади ротора ветротурбины;
- коэффициента полезного действия системы;
- средней скорости ветра;
- доступности;

- технического ресурса [12, с.117].

За последние три десятилетия в направлении технологии использования энергетических ресурсов наблюдается относительно ощутимые успехи.

Самое главное их преимущество сотни современных установок оказались конкурентоспособными по отношению к традиционным источникам энергии. Благодаря наличию электросетей, они транспортируют электроэнергию, вырабатываемую ветропарками, в любые регионы.

Развитие технологии использования энергии ветра в изолированных сетях, к сожалению, увеличивают неизбежные затраты на единицу произведенной энергии во много раз выше, чем в централизованных сетях электропередач.

Установки, производящие электроэнергию, обычно основаны на небольших двигателях внутреннего сгорания, использующих дорогостоящее топливо, когда расходы на транспортировку только топлива часто поднимают стоимость единицы произведенной энергии в десятки раз от стоимости энергии в лучших централизованных сетях электропередач.

Фундаментальные исследования аэродинамики ветряка, осуществленные в ЦАГИ, заложили основу современных ветротурбин с высоким коэффициентом использования энергии ветра (рисунок 3.6)



Рисунок 3.6 — Мощность ветряных станций современных ВЭУ

Однако известная всем ориентация на большую гидроэнергетику и угольно-ядерную стратегию, и почти полную глухоту к новациям и экологическим проблемам надолго затормозило развитие ветроэнергетики в России .

Выпускаемые в России «Ветроэном» установки долго не отвечали современным требованиям и представлениям высоких технологий ветроэнергетической индустрии [19].

Продвижением вперед послужила федеральная научно-техническая программа "Экологически чистая энергетика", когда для участия и получения финансирования были отобраны лучшие проекты ветроэнергетических установок различных классов по мощности. Были разработаны проекты ветроагрегатов мощностью до 30 кВт , 100 кВт, 250 кВт, 1250 кВт.

В качестве положительного примера можно привести изготовление и строительство ветроагрегата недалеко от Элисты. которое финансировалось правительством Калмыкии. Ветроагрегат подключен к сети, вырабатывает 2300-2900 тыс. кВт ч электроэнергии в год.

В МКБ "Радуга" были спроектированы ветроагрегаты мощностью 8кВт и 250 к Вт. 10 ветроагрегатов сетевого исполнения единичной мощностью 30 кВт. Ветропарк с установленной мощностью 300 кВт был построен и запущен в эксплуатацию в 1996 г. в Ростовской области и [1].

ВЭП России уникален. Он почти в 13 раз превышает годовую выработку всех электростанций страны, при этом допустимая по технико-энергетическим нормативам (20% от суммарной мощности энергосистем) суммарная выработка установленных в России ВЭС может составлять 60-90 ТВт-ч /год и покрывать до 10% энергопотребления страны.

Для размещения ВЭС, обеспечивающих эту энерговыработку, требуются суммарные площади, занимающие примерно 0,7% территории России (при установке ВЭУ в районах со среднегодовыми значениями Кинм > 30%).

С помощью ВЭС можно получать электроэнергию себестоимостью не более 5,0 евроцента/кВт-ч во многих районах РФ, включая энергодефицитную

европейскую часть РФ, а также западные европейские и южные дальневосточные области России. Это представляет интерес с точки зрения возможного экспорта электроэнергии ВЭС в соседние государства — страны Балтии, Белоруссию, Украину, Китай, Корею, Монголию.

Окупаемость ВЭС при $\text{Кинм} > 30\%$ составляет 10-12 лет при 20-летнем ресурсе ВЭУ и при закупочных ценах на их электроэнергию примерно 7~8 евроцентов/кВт-ч, которые в ближайшее время будут достигнуты отечественным энергорынком [21].

Сравнимой эффективностью в настоящее время обладают лишь малые бесплотинные ГЭС и ЭС на газе при нынешних льготных ценах на природный газ.

Для традиционных для России энергоисточников на жидком углеводородном топливе (мазут, дизтопливо) при сегодняшних ценах и при существующих тарифах на электроэнергию вновь строящиеся ТЭС не окупаются, как показывают расчеты, даже при самом эффективном оборудовании и любых энергосберегающих мероприятиях.

Таким образом, отечественная ветроэнергетика на базе современных технологий могла бы обеспечить сбережение ценного углеводородного топлива для будущих поколений и существенную (до 5% в масштабах России) его экономию для высокоприбыльного экспорта [24].

Сегодня возможны следующие сценарии развития ветроэнергетики в России:

- закупка и монтаж зарубежных ветроагрегатов;
- трансферт западных технологий и организация производства в России;
- кооперация с зарубежными фирмами и производство ветроагрегатов в России;
- организация производства собственных ветроагрегатов, ноу-хау которых защищено международным законодательством.

Для России предпочтительней последний сценарий, однако, он сдерживается существующим налоговым законодательством, монополией производителей

электроэнергии, отсутствием инвестиций и развалом производства [6].

За последние 25 лет ВЭУ «подросли» — от 20 метров в диаметре ветроколеса и высоты башен 25-30 метров в конце 1980-х годов до 126 метров в диаметре и 170 метров в высоте башен к 2006 году — и «возмужали» в единичной мощности до 5,0 МВт (ENERCON 112, Multibrid -5 МВт, REpower - 5 МВт).

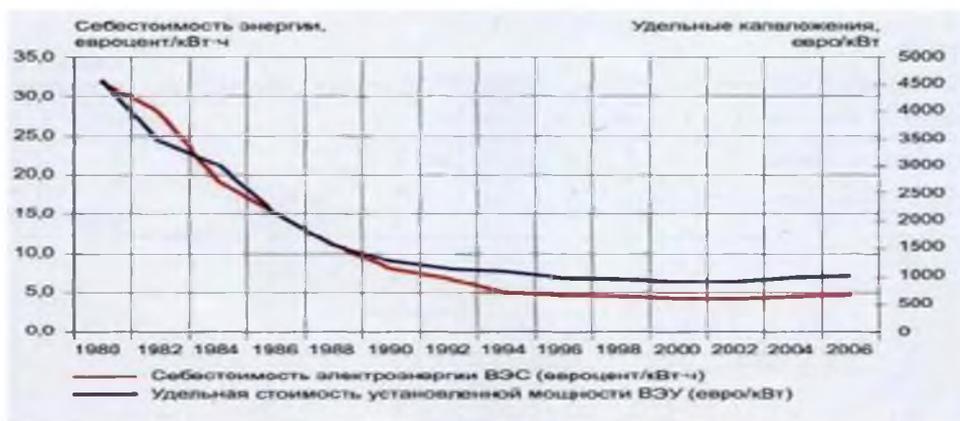


Рисунок 3.7 — Динамика удельной стоимости капитальных вложений

Трудозатраты на производство, доставку, установку, подключение сети и запуск ВЭС колеблются по данным компаний ENERCON , GAMESA , VESTAS от 12 до 22 человек - лет на 1 МВт номинальной мощности.

Обслуживание ВЭУ последних поколений составляет по данным производителей около 40 часов в год. Контроль за работой современных ВЭС осуществляется дистанционно, регламентные работы выполняют мобильные бригады из расчета 1 специалист на 10-15 ВЭУ в первые 5-7 лет работы ВЭС.

Благодаря развитию технологий, увеличению размеров ВЭУ и высоты их башен, размещению ВЭУ в местах с высоким ветровым потенциалом (ВЭП) коэффициенты использования их номинальной мощности (Кинм) составляют 24-25%, а к 2012-2014 годам планируется довести их значения до 28%.

Наибольшей эффективности современные ВЭУ достигают в составе многоагрегатных ВЭС при их оптимальном (с учетом роз ветров и топографии местности) размещении.

На рисунке 3.8 приведен сценарий развития ветроэнергетики на до

2020 года.



Рисунок 3.8 — Мощность ветряных станций современных ВЭУ

Важным преимуществом ВЭС над традиционными ЭС является быстрый ввод их мощностей и возможность наращивания ВЭС по модульной схеме. При возведении многоагрегатных ВЭС монтаж ВЭУ мегаваттной мощности в их составе при наличии фундамента производится со скоростью 1 установка за 2-3 дня [15].

Установленная мощность современных ВЭС достигает 300 МВт. С учетом технического состояния электрических сетей, допустимой нагрузки ВЭУ на энергетические системы, выбора оптимальных мест их установки наиболее эффективны сегодня ВЭС суммарной установленной мощностью 30-50МВт.

Перспективным крупномасштабным направлением современной ветроэнергетики являются оффшорные ВЭС, функционирующие на морском шельфе. Номинальная мощность оффшорных ВЭС достигает 400 МВт при единичной мощности базовых ВЭУ не менее 2 МВт.

По экономическим критериям (дороговизна подводных

энергокоммуникаций, фундаментов и монтажа ВЭУ) рентабельны ВЭС, установленные на расстоянии до 40 километров от берега и на глубине шельфа не более 35 метров (рисунок 3.9).

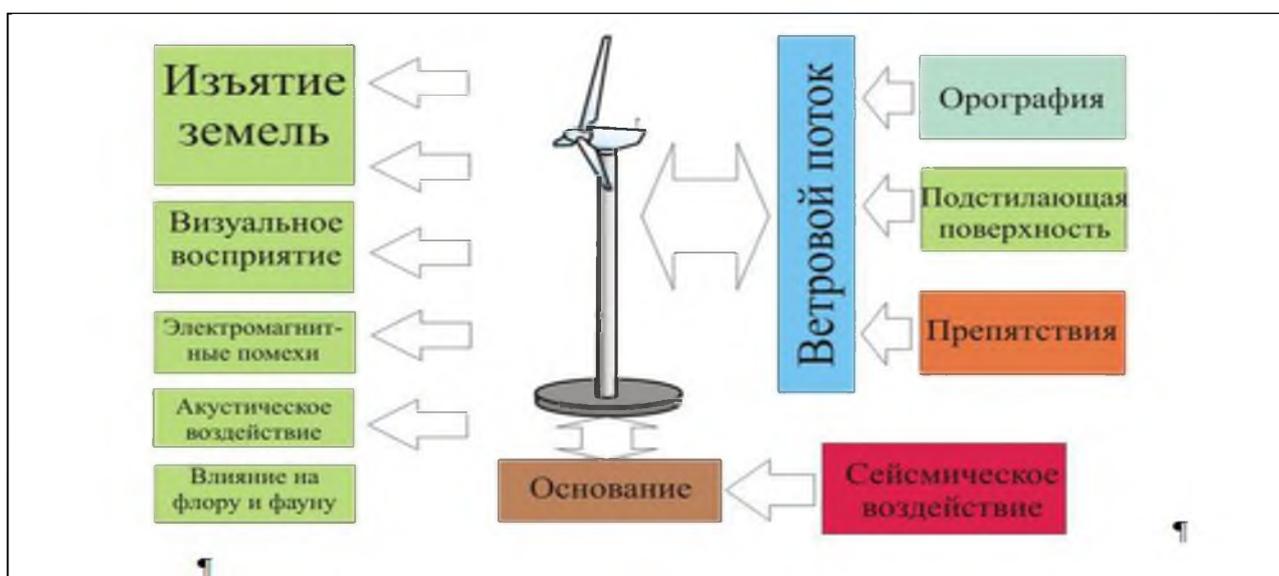


Рисунок 3.9 — Факторы взаимодействия природной среды и ВЭУ

Основные полигоны оффшорных ВЭС — Балтийское, Северное и Норвежское моря, суммарный ВЭП которых по оценкам превосходит энергетические потребности Европы. Лидерами оффшорной ветроэнергетики выступают Германия, Дания, Испания.

Важным аргументом в пользу ВЭС является экологичность производимой ими электроэнергии. Использование ВЭУ номинальной мощностью 1 МВт при Кинм ~ 25% позволяет годовую эмиссию углекислого газа снизить на 2000 тонн, угарного газа — на 5 тонн, двуокиси серы — на 13 тонн, пыли — до 1 тонны [14, с. 142].

3.2 Удельная мощность приземного ветра и ее распределение по территории Ставропольского края

Для того чтобы определить удельную мощь ветрового потока, были проведены расчеты по формуле

$$N=1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot V^3, \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха,

S - площадь поперечного сечения потока,

V - скорость потока.

Если $S= 1 \text{ м}^2$, то

$$N/S=1/2 \cdot \rho \cdot V^3 \quad (2)$$

$$N_c/S=1/2 \cdot 1,226 \cdot V^3, \text{ Вт/м}^2, \quad (3)$$

где $\rho=1,226$ - плотность воздуха для стандартной атмосферы кг/м^3 ,

$P=1013\text{мб}$, $t=15^\circ\text{C}$).

Или:

$$N_c/S \approx 0,613 \cdot Vc^3, \text{ Вт/м}^2, \quad (4)$$

то есть удельная мощность ветра пропорциональна среднему кубу скорости. В таблице 3.7 представлены расчетные данные по удельной мощи ветрового потока.

Таблица 3.7 - Удельная мощь ветрового потока, Вт/м2

№	Метеостанция	Месяц				Год
		I	IV	VII	X	
158	Красногвардейская	303	360	126	205	261
161	Арзгир	115	159	72	80	100
166	Ставрополь	356	376	164	300	303
173	Киан	343	466	134	292	325
1774	Ачикулак	88	202	123	112	157
181	Шаджатмаз	115	119	69	60	88
182	Бермамыт	254	186	92	202	169
183	Архыз	62	28	12	66	38
187	Минеральные воды	185	213	107	213	256
194	Пятигорск	107	262	55	94	103
196	Кисловодск	32	107	39	55	63

Из таблицы 10 видно, что в тех районах, где наблюдаются максимальные скорости ветра, там же наблюдается наибольшая удельная мощность ветрового потока за год (по данным многолетних наблюдений). А именно, на станциях Красногвардейская (261 Вт/м²), Ставрополь (303 Вт/м²), Киан (325 Вт/м²), Минеральные воды (256 Вт/м²).

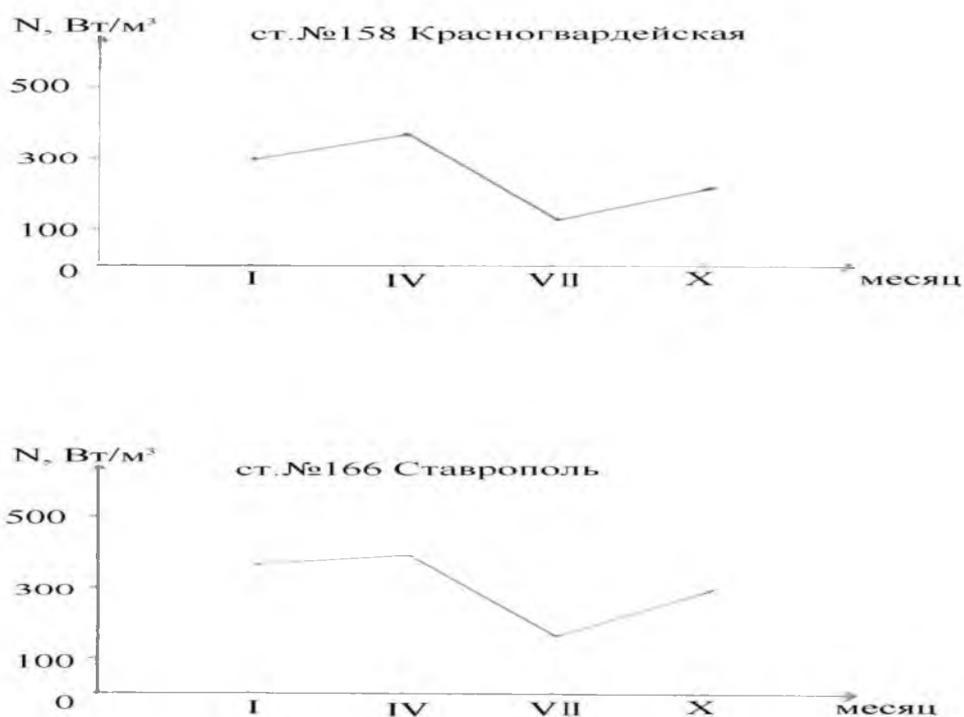


Рисунок 3.10 — Удельная мощность ветрового потока

По карте видно, что наибольшая удельная мощность ветрового потока (от 300 Вт/м² и выше) приходится на северо - западный район Ставрополя. Это обусловлено влиянием ветров Черного моря. В центральной части края удельная мощность достигает от 200 Вт/м² и выше. А в предгорных районах она снижается до 63 Вт/м² (станция Кисловодск).

Из полученных данных, где была рассчитана удельная мощность приземного ветра, были построены графики по двум станциям: Красногвардейская и Ставрополь, на которых можно проследить максимум и минимум ветроэнергопотенциала. На станции Красногвардейская максимум приходится на январь (303 Вт/м²) и апрель (360 Вт/м²). А на станции Ставрополь – в январе (356 Вт/м²) и в апреле (376 Вт/м²). Так как в холодное

полугодие барические градиенты увеличены, следовательно, повышена повторяемость циклонов. В циклонах скорости соответственно значительно больше, а чем больше скорости ветра, тем больше энергопотенциал.

Минимум приходится на теплое время года. На станции Красногвардейская он снижается до 126 Вт/м², а на станции Ставрополь до 164 Вт/м².

Широко распространено мнение, что ветроэлектростанции безвредны для окружающей среды. Однако при конкретном проектировании выявляются некоторые негативные факторы их влияния на окружающую среду. В связи с отсутствием какого-либо отечественного опыта создания и эксплуатации крупных ВЭС, никаких нормативных документов, определяющих экологическое ограничение по использованию ВЭС, пока не разработано. Слабо отражены эти вопросы и в зарубежной научной литературе. Поэтому ограничусь рассмотрением некоторых аспектов возможного негативного влияния ВЭС на окружающую среду, которые принимались во внимание при разработке проектов Восточно-Крымской и Дагестанской ВЭС:

- изъятие земельных ресурсов;
- акустическое воздействие (шум);
- влияние на орнитофауну и наземную фауну;
- электромагнитное излучение, вызывающее помехи для теле- и радиосвязи;
- влияние на ландшафт и его эстетическое восприятие;
- аварийные ситуации при поломке ВЭС.

Под площадки ВЭС выбирались малоценные для сельского хозяйства земли, годные только в качестве пастбищ. При этом вокруг каждой ВЭУ предусматривалось строительство площадки с твердым покрытием соответствующему диаметру ветроколеса. На каждую крупную ВЭУ было запланировано отведение 1 га земли.

Всего под площадку Восточно-крымской ВЭИ было предусмотрено отведение 30 га, а Дагестанской – около 15 га земли. Площадь земли под

вспомогательные сооружения и дороги занимает не более 20 % общей территории ВЭС. Остальные земли, по-видимому, можно использовать в сельскохозяйственных целях. При этом они приобретают даже более высокую ценность, так как обеспечены дорогами и источниками электроэнергии. Ограничения могут возникать только из-за шума и опасности разлета обломков при аварии [8, с. 69].

Наибольшее влияние на окружающую среду, здоровье человека, жизнь животных, птиц и насекомых оказывают низкочастотные звуковые колебания, возникающие при эксплуатации ВЭУ в диапазоне частот вращения ветроколеса 380-480 об/мин. Уровень звуковой мощности шумовых эффектов, сопровождающих работу ВЭУ в таком режиме составляет на расстоянии 150-200 м от установки 50-70дБ днем и 40дБ – ночью.

В отличие от маломощных ВЭУ, крупные ветроагрегаты с медленным вращением колеса могут излучать инфразвуки, что, однако, пока окончательно не доказано. Что касается общего шума, то он у основания башни ВЭУ достигает 20 дБ. Для защиты от него людей рекомендовано размещать ВЭУ не ближе 1 км от жилья.

Персонал ВЭС должен находиться в течение рабочей смены большей частью в помещениях. Сельскохозяйственные работы вблизи ВЭС должны быть механизированы и не требовать участия большого количества людей [9, с.48]. По зарубежным данным какого-либо вредного воздействия маломощных ВЭУ на скот не наблюдается.

Наиболее сложно защитить от воздействия ВЭС фауну, особенно птиц. Именно по этой причине были забракованы несколько площадок, так как они попадали на трассы зафиксированных путей миграции птиц. Проблема эта совершенно не изучена. Шум, исходящий от ВЭУ, по-видимому, будет отпугивать птиц. То же можно сказать и о представителях наземной фауны.

Имеется еще один вид воздействия ветровой энергетики. Большие ветродвигатели вращаются со скоростью около 30 об./с. Это близко к частоте синхронизации телевидения.

Поэтому крупные ветродвигатели могут мешать приему телепередач на расстоянии до 1,6 км. Так было, например, на Оркнейских островах в Англии, когда в 1986 году там установили экспериментальный ветродвигатель. Тут же от жителей ближайших населенных пунктов начали поступать многочисленные жалобы на ухудшение телевизионного сигнала.

Оказалось, что помехи создавали стальной каркас лопастей и имеющиеся на них металлические полосы для отвода ударов молний. Сами же лопасти, сделанные из стеклопластика, распространению телесигнала не мешали. В подобных случаях около ВЭС стали возводить ретрансляторы.

При использовании лопастей из стекловолокна, которые оказались дешевле металлических, расстояние помех уменьшается примерно вдвое. Но так обстоит дело с большими ветродвигателями, и можно ожидать, что это не будет проблемой для меньших двигателей [7, с.67].

Очертания башен ВЭУ прорабатываются с участием опытных дизайнеров, поэтому выглядят они обычно привлекательно. Для рассматриваемых опытно-промышленных ВЭС вряд ли возникнет проблема нарушения эстетики ландшафта. Напротив, они могут стать объектами, привлекающими туристов. В тоже время при широкомасштабном внедрении ВЭС в крупных районах возникновение указанной проблемы возможно.

При аварийных ситуациях может произойти отрыв лопасти ВЭУ и она может отлететь на значительное (в несколько сотен метров) расстояние. Но вероятность такой аварии невелика, и уровень производственного и бытового риска на территориях, прилегающих к ВЭС, не выше обычного для других производств.

Ветроагрегаты отключаются и останавливаются при скорости ветра 25 м/с (10 баллов по шкале Бофорта) с помощью двухуровневой тормозной системы. В отключенном виде они выдерживают порывы ветра до 50 м/с. Серьезные аварии практически исключены, поскольку системы дублируют одна другую, а вся механика, особенно лопасти, проходит серьезные испытания на прочность.

Таким образом, можно сделать вывод, что влияние ВЭС на окружающую среду изучено еще недостаточно, потому многие вопросы требуют дальнейшей проработки. Тем не менее, уже сейчас ясно, что утилизация энергии ветра не несет с собой той угрозы окружающей среде, которую приходится испытывать от традиционной энергетики [23, с.163].

3.3 Экономическое обоснование развития ветроэнергетики

Строительство ветроэлектростанций является одним из перспективных направлений развития в нашей стране энергетики, использующей нетрадиционные возобновляемые энергоресурсы. Поэтому наряду с решением технических вопросов в этой области представляется актуальным экономическое обоснование развития ветроэнергетики.

Первоочередной задачей в данном вопросе является определение стоимости проекта. Стоимость проекта складывается из двух основных категорий - первоначальных капитальных затрат и ежегодных эксплуатационных затрат. Ниже приведены возможные категории затрат по проекту [8].

Первоначальные капитальные затраты:

- затраты на предварительные исследования - Они включают первоначальное проектирование и замер характеристик ветра для подтверждения достаточности ветроэнергетических ресурсов;
- затраты на получение разрешения на проектирование - Здесь подразумеваются затраты на получение разрешения в отделе планирования, а также затраты по оценке экологического ущерба от реализации проекта;
- затраты по управлению проектом - Такие затраты характерны не только для крупных, но и для сравнительно небольших проектов, когда часть расходов приходится на управление проектом;
- юридические затраты - Если проект был в собственности кооператива, юридические затраты будут включать заключение

индивидуальных контрактов, распределение акций и другие затраты;

- закупка ветроагрегатов - Сюда входят затраты на закупку всего необходимого оборудования;

- затраты на создание инфраструктуры - В этой категории учитываются расходы на прокладку кабелей и устройство фундамента. Для проектов большего масштаба в этих затратах учитывается прокладка подъездных путей;

- затраты на установку, доставку и комиссионные - Расходы на доставку включает в себя постоянные затраты, не связанные с расстоянием от поставщика до потребителя, и переменные затраты, которые непосредственно зависят от километража. Часто в доставку включаются комиссионные и затраты на установку. Поэтому покупателю необходимо заранее обсудить все необходимые платежи с поставщиками оборудования. Также, в зависимости от того, где были произведены ветроагрегаты, может потребоваться оплата таможенных сборов;

- затраты на подключение к местной электросети - Это относится к проектам крупного масштаба, которые будут подсоединены к местной сети энергоснабжения. Эти затраты могут включать стоимость трансформатора, укладки кабелей и др. [10, с. 98].

Ежегодные эксплуатационные затраты:

- страховка - Поставщик оборудования ветроустановки должен предоставить потребителю возможность страхования приобретаемого оборудования. Это очень важно. Например, если после окончания гарантийного срока, определенного производителем ВЭУ, возникает техническая проблема или если произошло повреждение оборудования в результате попадания молнии и т.п., владелец системы не будет платить за ремонт в случае, если предварительно оборудование системы было застраховано. Страхованием занимаются специализированные организации; затраты на поддержание работоспособности и техническое обслуживание ;

- Оборудование ВЭУ нуждается в контроле и техническом

обслуживании, при этом некоторые детали необходимо периодически заменять. Регулярность обслуживания зависит от масштаба проекта, но в большинстве случаев не превышает 2 раз в год. Эти затраты могут быть значительными;

- Если речь идет о крупной ВЭУ, подключенной к электросети, то могут быть и дополнительные затраты, например, на потребление электричества из сети для запуска и возбуждения генератора.

- Для автономных ВЭС в этой категории могут учитываться стоимость топлива для резервного дизель-генератора, стоимость замены АБ и т.п. [1, с. 117].

Еще одна статья затрат должна быть принята во внимание на стадии технико-экономического обоснования - это стоимость демонтажа оборудования ВЭС и возвращения участка к первоначальному состоянию.

В сделана ориентировочная оценка срока окупаемости проекта развития ветроэнергетики в Ставропольском крае. Первоначально оценивались затраты по категориям, указанным выше.

Основная категория затрат – на покупку ВЭУ. За рубежом стоимость 1кВт мощности ветроагрегата составляет 800 – 1200 долларов [12]. Следовательно, учитывая, что $N_p = 37$ кВт и, что стоимость 1 кВт в среднем 1000 долларов, для покупки 386 ВЭУ потребуются затраты:

$$Z = 1000 \times 37 \times 386 = 14,282 \text{ млн. долларов США}$$

Обычно эти затраты составляют около 64% всех затрат [12,]. Доли других затрат в % и в долларах приведены в таблице 11.

Таблица 11 — Смета затрат ветроэнергетического проекта Ставрополья

Вид затрат	Структура, %	Стоимость, \$
ВЭУ	64	14282000
Фундаменты	2	446313
Электрическое оборудование	3,5	781047
Служебно-производственные здания	2	446313
Дороги и благоустройство	5	1115781
Временные сооружения	2,5	557891
Прочие затраты (доплаты, проектные работы, начисления, неподвижные затраты)	21	4686281
Сумма	100	22 315 625

Таким образом, затратная часть проекта составляет 22,315 млн. \$ США.

Прибыль проекта будет зависеть от количества ежегодно вырабатываемой ветроэлектроэнергии. Будем считать, что стоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляет 1 руб. 80 коп. (цена РАО ЕЭС на май 2007 года).

Тогда стоимость суммарной ветроэлектроэнергии, которая может быть выработана всеми ВЭУ за год будет равна:

$$C = 27\,384\,412 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \times 1 \text{ руб. } 80 \text{ коп.} = 49\,291\,942 \text{ руб.}$$

Или в переводе на \$ США (по данным ЦБ РФ на 08.10.2008

$$1\$ = 25,74 \text{ руб.}):$$

$$C = 1\,914\,994 \text{ доллара.}$$

Зная затраты проекта и годовую прибыль, можно рассчитать период его окупаемости:

$$П = 22\,315\,625 / 1\,914\,994 = 11,6 \text{ лет.}$$

По результатам расчетов специалистов срок окупаемости различных проектов на возобновляемые источники энергии в России составляет от 3 до 15 лет.

Таким образом, данный проект по сроку окупаемости является приемлемым, так как не выходит за верхний предел.

Если же учесть динамику цен на топливные ресурсы, которые будут постоянно расти, и дальнейшее снижение цен на альтернативную энергию, то следует ожидать, что в перспективе сроки окупаемости ВЭУ будут иметь тенденцию к уменьшению [10, с.119].

Ветроэлектрическая станция (ВЭС) преобразует кинетическую энергию ветрового потока в электрическую. ВЭС состоит из ветромеханического устройства (роторного или пропеллерного), генератора электрического тока, автоматических устройств управления работой ветродвигателя и генератора, сооружений для их установки и обслуживания [4, с. 87].

Ветроэнергетическая установка - это комплекс технических устройств для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора генератора. ВЭУ состоит из одной или нескольких

ВЭС, аккумулирующего или резервирующего устройства и систем автоматического управления и регулирования режимов работы установки.

Удаленные районы, недостаточно обеспеченные электроэнергией, практически не имеют другой, экономически выгодной альтернативы, как строительство ветроэлектростанций [12, с. 90].

Ветер обладает кинетической энергией, которая может быть превращена ветромеханическим устройством в механическую, а затем электрогенератором в электрическую энергию.

Скорость ветра измеряется в километрах в час (км/час) или метрах в секунду(м/с):

- 1 км/час = 0.28 м/с
- 1 м/с = 3.6 км/час.

Энергия ветра пропорциональна кубу скорости ветра.

$$\text{Энергия ветра} = 1/2 dAtS^3$$

d - плотность воздуха,

A - площадь, через которую проходит воздух,

t - период времени,

S - скорость ветра.

Мощность (P) пропорциональна энергии ветра, проходящей через поверхность ("ометаемая поверхность") в единицу времени.

$$\text{Мощность ветра} = 1/2 dAS^3$$

Ветер характеризуется следующими показателями:

- скорость среднемесячная и среднегодовая в соответствии с градациями по величине и внешним признакам по шкале Бофорта;
- скорость максимальная в порыве – очень важный показатель устойчивости работы ветроэлектростанции;
- направление ветра/ветров – «роза ветров», периодичность смены направлений и силы ветра;
- турбулентность – внутренняя структура воздушного потока, которая создает градиенты скорости не только в горизонтальной, но и в вертикальной

плоскости;

- порывистость - изменение скорости ветра в единицу времени;
- плотность ветрового потока, зависящая от атмосферного давления, температуры и влажности.

- ветер может быть однофазной, а также двухфазной и многофазной средой, содержащей капли жидкости и твердые частицы разной крупности, движущиеся внутри потока с разными скоростями [6, с. 365].

Ветры, формирующиеся в континентальной местности и северных широтах, характеризуются резкими порывами и частой сменой направлений, отличаются от довольно спокойных ветров европейского морского побережья (Нидерланды, Германия).

Структура ветра меняется в зависимости от высоты над земной поверхностью, при этом стабильность воздушного потока увеличивается в высоких слоях воздуха. Различие в темпераменте ветров требует определенного конструктивного подхода при создании ветростанции. Предлагаемое решение является универсальным для ветров любых направлений и скоростей, включая штормовые ветра.

Заключение

Энергия ветра на земле неисчерпаема. Многие столетия человек пытается превратить энергию ветра себе на пользу, строя ветростанции, выполняющие различные функции: мельницы, водяные и нефтяные насосы, электростанции. Как показала практика и опыт многих стран, использование энергии ветра крайне выгодно, поскольку, во - первых, стоимость ветра равна нулю, а во-вторых, электроэнергия получается из энергии ветра, а не за счет сжигания углеродного топлива, продукты горения которого известны своим опасным воздействием на человека (CO, SO₂).

В связи с постоянными выбросами промышленных газов в атмосферу и другими факторами возрастает контраст температур на земной поверхности. Это является одним из основных факторов, который приводит к увеличению ветровой активности во многих регионах нашей планеты и, соответственно, актуальности строительства ветростанций.

На основе расчетов, проведенных в данной дипломной работе, можно сделать следующие выводы:

1. На высоте 10 м наиболее сильные (V_c до 5,5 м/с) и устойчивые по времени ветры (C_v менее 90%) приходятся на северо-западный район Ставропольского края. По мере приближения к юго-восточному району (с запада на восток) средние скорости уменьшаются до 1,8 м/с, а коэффициенты вариации увеличиваются до 100% и более;

2. В тех районах, где наблюдаются максимальные скорости ветра, там же наблюдается наибольшая удельная мощность ветрового потока за год (по данным многолетних наблюдений). А именно, в северо-западном районе (Красногвардейская 261 Вт/м₂, Киан 325 Вт/м₂, Ставрополь 303 Вт/м₂) и юго-восточном (Минеральные воды 256 Вт/м₂);

3. Наименее стабильные ветры а наблюдаются в северо – западном районе на станциях Минеральные воды (87%), Шаджатмаз (84%), Бермамыт (87%), Киан (91%), Арзгир (93%) и Красногвардейская (93%).

времени или отсутствие стабильной скорости предполагает более детальное изучение для установок ВЭУ.

4. Таким образом, установки ветроэнергетики в Ставропольском крае в масштабном развитии нецелесообразны. Однако, установка автономных ветроагрегатов локального типа на исследуемых территориях возможна в основном на возвышенностях и в юго-западном районе или на равнинной части Ставрополья, граничащей с Краснодарским краем, там, где из полученных данных за многолетний период наблюдений скорости ветра достигают от 4,4 м/с до 4,8 м/с (на станциях Красногвардейская, Киан, Ставрополь).

5. В исследуемых районах использование локальных ветроагрегатов вполне полезно для автономных потребителей, а также эти результаты можно использовать в дальнейшем в строительстве высотных зданий и промышленности.

Предложения и рекомендации :

1. За оборудованием ВЭУ необходимо вести контроль и техническое обслуживание, при этом некоторые детали необходимо периодически заменять. Регулярность обслуживания зависит от масштаба проекта, но в большинстве случаев не превышает 2 раз в год. Эти затраты могут быть значительными;

2. Структура ветра меняется в зависимости от высоты над земной поверхностью, при этом стабильность воздушного потока увеличивается в высоких слоях воздуха. Различие в темпераменте ветров требует определенного конструктивного подхода при создании ветростанции. Предлагаемое решение является универсальным для ветров любых направлений и скоростей, включая штормовые ветра.

Список использованной литературы

1. Рассел, Джесси. Ветроэнергетика Канады / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2013. - 358 с.
2. А. да Роза Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы / А. да Роза. - М.: МЭИ, Интеллект, 2010. - 704 с.
3. Алексеев, Б.А. Международная конференция по ветроэнергетике / Электрические станции. 1996. №2.
4. Безруких, П.П. Экономические проблемы нетрадиционной энергетики / Энергия: Экон., техн., экол. 1995. №8.
5. Безруких, П. П. Ветроэнергетика / П.П. Безруких, (мл.) П.П. Безруких, И.А. Грибков. - М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2014. - 304 с.
6. Безруких, П. П. Ветроэнергетика: моногр. / П.П. Безруких. - М.: Энергия, 2010. - 665 с.
7. Богуславский, Э.И., Виссарионов, В.И., Елистратов, В.В., Кузнецов, М.В. Условия эффективности и комплексного использования геотермальной солнечной и ветровой энергии // Международный симпозиум «Топливно-энергетические ресурсы России и др. стран СНГ». С.-Пб., 1995.
8. Буянов, А. Атомная энергия / А. Буянов. - М.: Московский рабочий, 2007. - 160 с.
9. Вест, К. Источник энергии / К. Вест. - Москва: СПб. [и др.] : Питер, 2011. - 224 с
10. Д. де Рензо Ветроэнергетика / Д. де Рензо. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 229 с.
11. Дробышев, А. Д. Определение ветроэнергоресурсов с помощью стандартных таблиц. — В сб. трудов ЗапСибНИГМИ, вып. 86, 1989.-78с
12. Дробышев, А.Д. Состояние и перспективы использования альтернативных источников энергии. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы комплексного управления прибрежными зонами» Под ред. С.Я. Сергин и др. Туапсе, ТФ РГГМУ, 2004. -

90 с .

13. Дробышев, А.Д., Пермяков, Ю.А. Ветровая энергия и ее возможный вклад в ресурсосбережение и экологию Прикамья: Учебное пособие / Перм.ун-т.-Пермь, 1997.-143с
14. Дьяков, А.Ф., Прокуроров Н.С., Перминов Э.М. Калмыцкая опытная ветровая электростанция / Электрические станции 1995. № 2.
15. Загрядцкий, В. И., Харитонов, Л. Г. К вопросу Создания Автономного Энергосберегающего Источника Энергии / Загрядцкий Владимир Иванович; Л. Г. Харитонов. - Москва: ИЛ, 2008. - 957 с.
16. Земсков, В. И. Возобновляемые источники энергии в АПК. Уч. пособие / В.И. Земсков. - М.: Лань, 2014. - 368 с.9. Коллинз, П. Введение в реджевскую теорию и физику высоких энергий / П. Коллинз. - М.: [не указано], 2014. -187с.
17. Каргиев, В.М., к.т.н. Мартиросов, С.Н. и др. Ветроэнергетика. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности. - Москва, 2001 <http://www.intersolar.ru/wind>.
18. Логинов, В.Б. Новак, Ю.И. Высокоэффективные ветроэнергетические установки / Проблемы машиностроения и автоматизации. 1995. №1-8.
19. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии. - М.: МЭИ, 2009. - 144 с.
20. Нагалецкий, Ю.Я., Чистяков, В.И. Физическая география Краснодарского края: учебное пособие – Краснодар: «Северный Кавказ», 2003. - 236с.
21. Рассел, Джесси Ветроэнергетика Китая / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2013. - 637 с.
22. Сергин, С.Я. и др. Климат и природопользование Краснодарского Причерноморья. Монография. – СПб.; изд. РГГМУ, 2001. 188с.
23. Тер-Микаелян, М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях / М.Л. Тер-Микаелян. - М.: [не указано], 2017. - 431 с.
24. Углов, А.А. Автоколебательные процессы при воздействии концентрированных потоков энергии / А.А. Углов, С.В. Селищев. - М.: [не

указано], 2013. - 912 с. Цубота Дети на ветру / Цубота, Дзедзи. - М.: Детская литература, 2014. - 224 с.

25. Шальнев, В.А., Бутенко, Н.И., Савельева, В.В. Физическая география Ставропольского края.- Ставрополь. Ставропольсервисшкола, 2000.-176с

26. Штульман, Н.Г. Влияние орографии на траекторию движения и характер изменения радиолокационных параметров кучево-дождевых облаков // Тр. ВГИ. 1976. Вып. 33. С. 115-122.

27. Юдасин, Л. С. Энергетика: проблемы и надежды. М.: Просвещение, 1990. - 213с