



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра МКОА

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)**

**На тему: «Анализ ветрового режима для оценки ветроэнергетического
потенциала территории»**

Исполнитель _____ **Синёнкин Алексей Артёмович**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ **Кандидат географических наук, доцент**
(ученая степень, ученое звание)

_____ **Абанников Виктор Николаевич**
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

И.О. заведующего кафедрой

_____ (подпись)

_____ **Доктор физико-математических наук, доцент**
(ученая степень, ученое звание)

_____ **Дробжева Яна Викторовна**
(фамилия, имя, отчество)

« ____ » _____ 2024 г.

Санкт–Петербург

2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	6
1.1. Географическое положение Ростовской области.....	6
1.2. Оценка развития энергетической отрасли в Ростовской области	18
1.3. Циркуляционные особенности ЮФО (Ростовская область)	24
ГЛАВА 2. ОЦЕНКА РЕЖИМА ВЕТРА В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	25
2.1 Классификация ветрогенераторов и их технические потребности к ветровому режиму.....	25
2.2. Анализ скорости ветра в Ростовской области.....	30
2.3 Особенности формирования розы ветров.....	34
2.4 Повторяемость скоростей ветра при различных направлениях	38
ГЛАВА 3 АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО КАДАСТРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	47
3.1 Оценка продолжительности скоростей ветра в рабочих и нерабочих диапазонах	48
3.2 Анализ ветроэнергетических ресурсов Ростовской области.....	50
3.3 Оценка объемов вырабатываемой электроэнергии для определения ветроэнергетического потенциала территории	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
ЛИТЕРАТУРА.....	58

ВВЕДЕНИЕ

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) — это природные ресурсы, которые восполняются в результате естественных процессов и их использование не наносит значительного ущерба окружающей среде. Среди видов возобновляемых источников энергии выделяют:

- 1) Солнечная энергия: используется для производства электричества и тепла с помощью солнечных панелей.
- 2) Ветряная энергия: преобразуется в электричество с помощью ветряных турбин, использующих ветровое давление для вращения генераторов.
- 3) Биомасса и биоэнергетика: получение энергии из органических материалов, таких как древесина, растительные отходы и сельскохозяйственные отходы.
- 4) Геотермальная энергия: используется для генерации электричества и обогрева зданий с помощью тепла, выделяемого изнутри Земли.
- 5) Гидроэнергетика: Энергия движущейся воды, которая применяется для производства электричества. Гидроэнергетика является традиционным источником возобновляемой энергии.

Среди существующих альтернативных источников энергии исторически преимущественное развитие получила ветровая энергия. Это можно объяснить простотой устройств (например, ветряные мельницы) и возможностью монтажа современных ветрогенераторов в разных географических условиях.

Современные ветрогенераторы предоставляют широкие возможности для практического использования — от частных домов до промышленных предприятий и населенных пунктов. Особенно перспективным является использование ветрогенераторов в удаленных районах, где нет доступа к основным линиям электропередач. Такие места могут включать в себя месторождения полезных ископаемых, отдаленные сельскохозяйственные предприятия (системы орошения, фермы скотоводства), туристические базы и другие объекты.

В России внедрение ветроэнергетики приобретает все большее практическое значение. В рамках программы по договорам о предоставлении мощностей на основе возобновляемых источников энергии 2.0 (ДПМ ВЭИ 2.0), принятой к реализации к 2026 году, страна активно развивает этот вид энергетики. Ветроэнергетика обладает рядом преимуществ:

1) Экологическая безопасность: при работе ветрогенераторов не выделяется углекислый газ, что позитивно сказывается на окружающей среде, способствуя снижению загрязнения атмосферы и уменьшению экологического следа.

2) Низкие операционные расходы: после установки ветрогенераторов они производят электроэнергию с низкими затратами. Ветроэнергия не требует дополнительных расходов на топливо, что отличает ее от других источников энергии.

3) Бесконечный ресурс: ветер, в отличие от ископаемых топлив, является бесконечным ресурсом, доступным для использования практически в любой точке, где дует ветер.

4) Низкая зависимость от цен на энергию: производство электроэнергии с помощью ветрогенераторов не зависит от колебаний цен на топливо или других факторов, что обеспечивает стабильность стоимости производства электроэнергии.

5) Экономическая выгода для общества: использование ветроэнергии может существенно снизить расходы государства и частных компаний на закупку топлива для производства электроэнергии. Кроме того, развитие ветроэнергетики способствует созданию новых рабочих мест и стимулирует экономический рост.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка ветрового кадастра для Ростовской области для поиска дополнительных возможностей по дальнейшему развитию ветрогенерации на территории области.

Для решения поставленной задачи необходимо решить следующие задачи;

- 1) Провести анализ физико-географических особенностей территории Ростовской области;
- 2) Проанализировать особенности рельефа местности и климатообразующих факторов;
- 3) Оценить ветровой режим на территории Ростовской области на основе анализа скорости ветра и розы ветров;
- 4) Рассчитать кадастровые характеристики ветрового режима с целью оценки удельной мощности ветровых ресурсов.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Содержит 57 страниц, 10 таблиц и 20 рисунков

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

1.1. Географическое положение Ростовской области

Ростовская область, расположенная в Южном федеральном округе России, занимает важное географическое положение на пересечении множества транспортных путей и экономических связей. Её координаты составляют 47° северной широты и 40° восточной долготы. Область граничит с Воронежской областью на севере, с Волгоградской областью на востоке, с Республикой Калмыкия и Ставропольским краем на юге, а также имеет границу с Украиной (Харьковская и Луганская области) на западе.

Территория области простирается от Северного Кавказа до Приазовской низменности, охватывая разнообразные природные зоны, такие как лесостепь, степь и полупустыни. Ростовская область является ключевым узлом транспортных коммуникаций, благодаря своему расположению на пересечении магистралей и железнодорожных путей, связывающих Россию с странами СНГ и Европой.

Климат области континентальный, с жаркими летами и мягкими зимами. Ростовская область богата природными ресурсами, такими как земельные угодья для сельского хозяйства, минеральные ресурсы и водные ресурсы рек Дон и Волга. Это способствует развитию сельского хозяйства, промышленности и туризма в регионе.

В целом, географическое положение Ростовской области играет ключевую роль в экономическом развитии региона, обеспечивая благоприятные условия для различных отраслей промышленности, сельского хозяйства и транспорта.

В современной географии Ростовской области можно выделить несколько основных геоморфологических областей:

Калачская возвышенность, Донская гряда и Донецко-Донская равнина находятся в северной части области. Это ровные и увалистые возвышенности, с самой высокой точкой в Донской гряде (250 м).

Северо-Приазовская аккумулятивная равнина, расположенная ближе к юго-востоку, описывается как цокольная, практически плоская равнина. Здесь высоты не превышают 115 м. Равнина разделена долинами рек на ряд плато, таких как Грушевское, Родионово-Несветайское, Новочеркасское.

На востоке находится Донецкий кряж, который разделен долинами рек Лихая и Кундрючья на ряд водоразделов. В этом районе высоты достигают до 298 м. Здесь характерно чередование равнинных пространств с холмами, иногда встречается карстовая местность.

Также присутствует овражно-балочная сеть, а на юге можно наблюдать уступы и скаты.

На востоке Ростовской области простирается Доно-Сальская аккумулятивно-эрозионная равнина, также известная как Западные Ергени. Эта равнина характеризуется плавными увалистыми склонами и абсолютными высотами от 50 до 100 метров.

В рельефе Ростовской области можно выделить несколько морфологических структур, вызванных тектонической активностью (рис.1): Восточно-Донскую гряду, Доно-Донецкую равнину, Донецкий выступ, вал Карпинского, Манычский прогиб, Азово-Кубанскую впадину и Азовскую антиклизу. Юго-восточные районы Ростовской области характеризуются полупустынями.

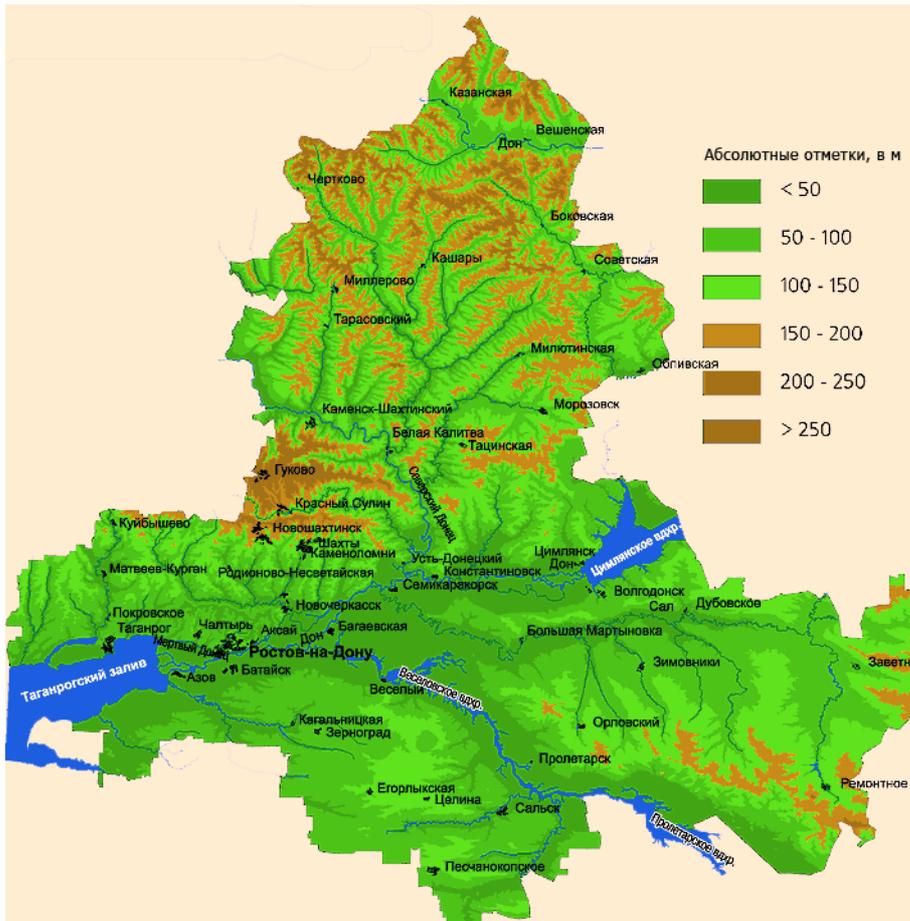


Рисунок 1. Рельеф Ростовской области

В морфологическом плане характеристики в пределах Ростовской области довольно разнообразны (рис 2)

Доно-Сальская равнина	Донецко-Донская возвышенная равнина	Нижнедонская низменность
Донская гряда	Калачская возвышенность	Доно-Егорлыкская аккумулятивная равнина
Северо-Приазовская равнина	Манычская низменность	Сало-Манычская возвышенность

Рисунок 2. Морфологические характеристики Ростовской области

Ростовская область имеет разнообразный рельеф, включающий в себя Калачскую возвышенность, Донскую гряду и Донецко-Донскую равнину на севере региона. Эти районы характеризуются как ровные и увалистые возвышенности, причем самая высокая точка отмечена в Донской гряде (250 м).

На юго-востоке области расположена Северо-Приазовская аккумулятивная равнина, которую можно описать как цокольную, практически плоскую равнину. Здесь высоты не превышают 115 м, а равнина разделена на плато долинами рек, такими как Грушевское, Родионово-Несветайское и Новочеркасское.

На востоке находится Донецкий кряж, который разделен долинами рек Лихая и Кундрючья на ряд водоразделов. В этом районе можно наблюдать чередование равнинных участков с холмистой местностью, иногда с карстовыми образованиями. Здесь также присутствует овражно-балочная сеть, а на юге можно увидеть уступы и скаты.

Доно-Сальская аккумулятивно-эрозионная равнина (Западные Ергени) располагается на востоке области и характеризуется как пологоувалистая равнина с абсолютными высотами от 50 до 100 м.

В Ростовской области можно выделить несколько морфологических структур, таких как Восточно-Донская гряда, Доно-Донецкая равнина, Донецкий выступ, вал Карпинского, Манычский прогиб, Азово-Кубанская впадина и Азовская антиклизы. Некоторые юго-восточные районы области представлены полупустынями.

Для анализа оценки основных форм рельефа с точки зрения их влияния на ветровой режим Ростовской области важно отметить следующее:

Небольшие высоты региона способствуют легкому проникновению различных воздушных масс.

Субширотная ориентация наиболее высоких участков, таких как Донская гряда, Донецкий кряж, Сало-Манычская гряда, в сочетании с наличием Манычской и Нижнедонской низменностей, создает "ветровой коридор",

удобный для западно-восточных вторжений воздушных масс с различными физическими свойствами.

Невысокие районы на юго-западе и юго-востоке области способствуют проникновению морского умеренного и морского тропического воздуха.

С востока возможен доступ меридиональных вторжений, включая полярные и тропические воздушные массы (арктические, континентальные умеренные, континентальные тропические).

Территория области, благодаря разнообразию рельефа, растянутости от северных до южных районов Русской равнины, окруженная тремя крупными теплыми морями, является носителем характерных климатических зон России.

Для области характерен жаркий климат донских степей и континентальный климат полупустынь Прикаспия, южнее переходит в более мягкий климат предгорий и ближе к Черноморскому побережью Кавказа, начиная от Лазаревского субтропический (рис 3.).

На высотах Кавказа температурные режимы холодные, влажные и менее континентальные. На севере региона продолжительность безморозного периода может достигать полугода, а на равнинах подножья Кавказских гор - до 2/3 года, а на Черноморском побережье - до 9-10 месяцев в году.

Территории, расположенные с запада на восток, более засушливы. Например, северо-восточная часть региона имеет меньшее количество осадков. На севере и западной равнине количество осадков составляет примерно 400-500 мм в год, а на юго-востоке оно уменьшается до 300-400 мм в год.

В степных зонах Ростовской области, которые находятся на равнинной части, часто возникают пыльные бури и суховеи, особенно в жаркую и сухую погоду летом, а иногда и весной.

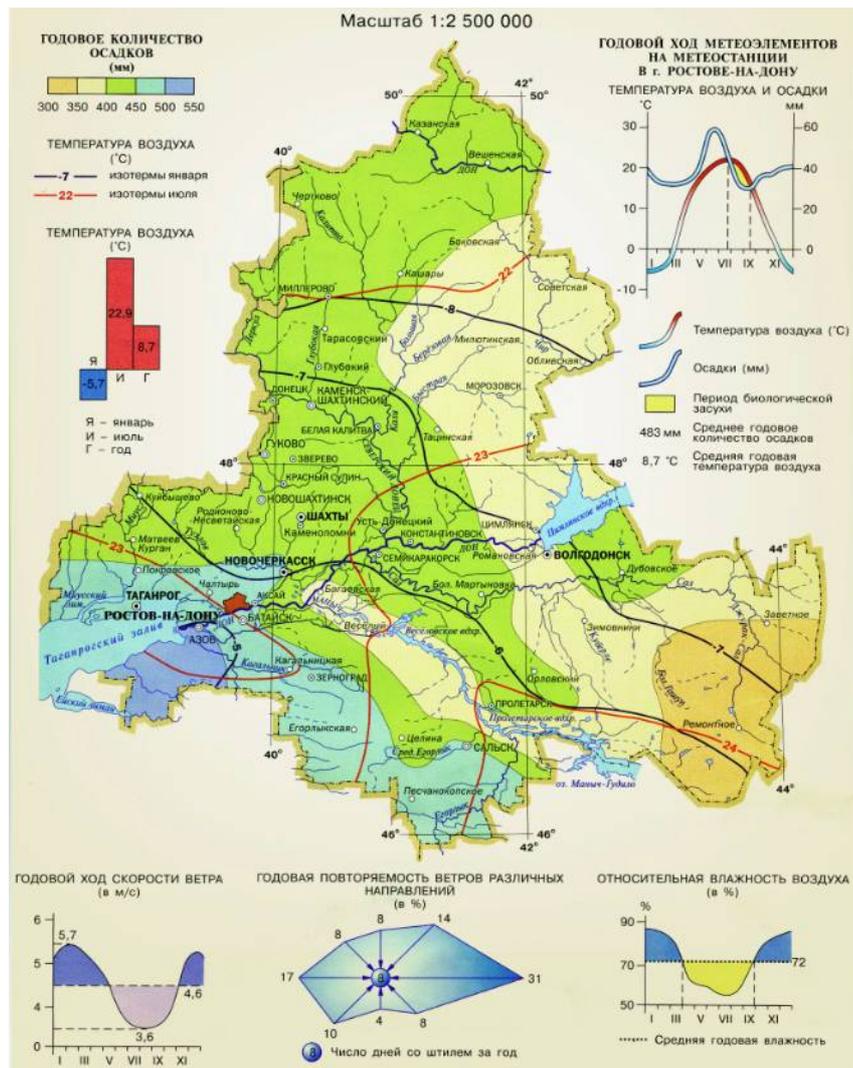


Рисунок 3. Климатические условия Ростовской области

Почти весь регион расчленяется реками: Дона, Северного Донца, Сала, Западного и Восточного Маныча, Егорлыка и других притоков. Особенностью Ростовской области является наличие искусственной сети оросительных каналов, связанных с ее сельскохозяйственной направленностью.

Весь этот комплекс ландшафтов формирует особенности температурного режима и режима осадков (рис 4).

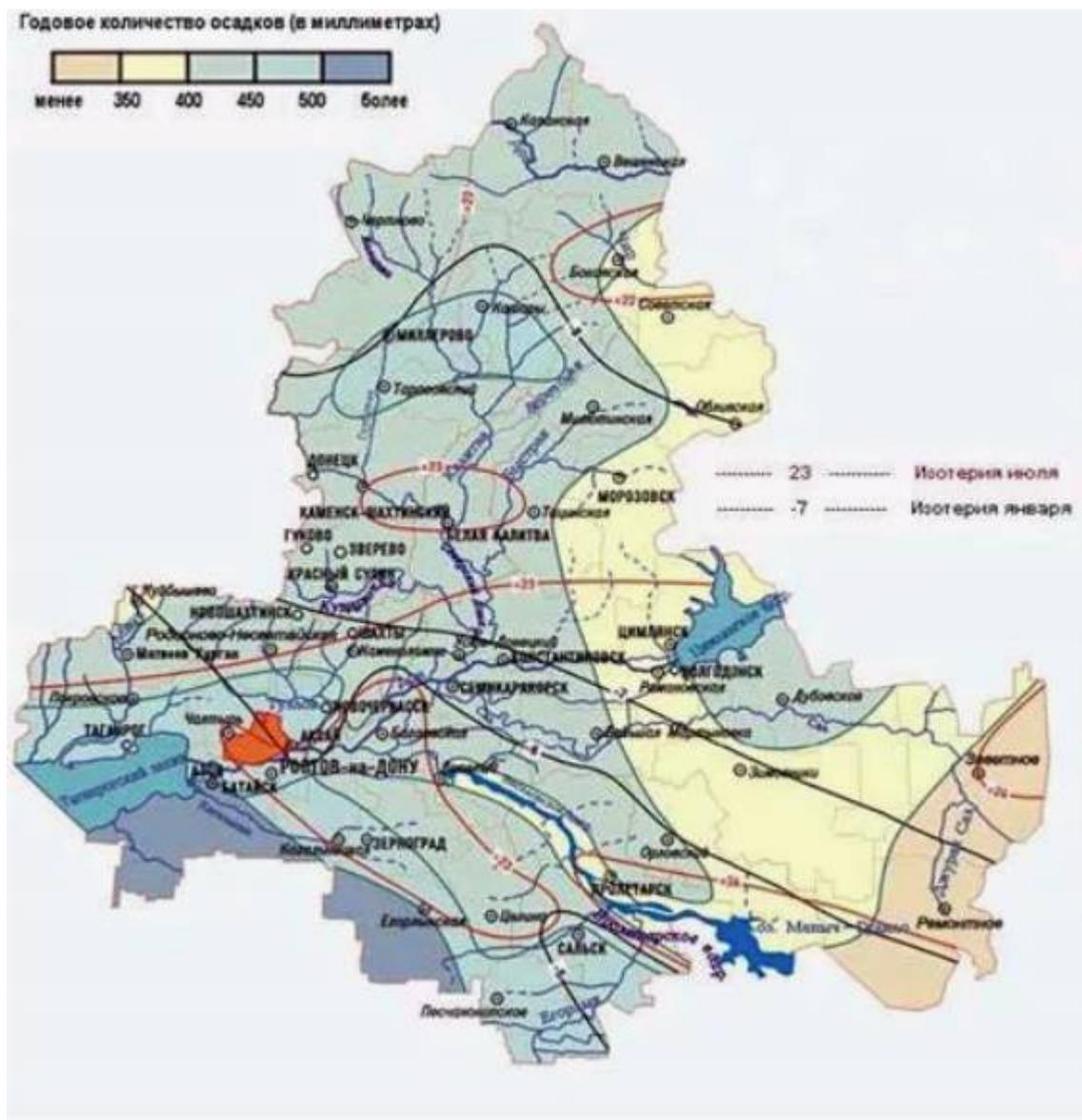


Рисунок 4. Осадки на территории Ростовской области

Регион находится в зоне умеренного пояса, характеризуется умеренно-континентальным климатом.

Ростовская область характеризуется усилением континентальности климата от северо-запада к юго-востоку. Летом здесь становится более сухо и жарко, а зимой — холодно с низкими температурами. Самый холодный месяц в области — январь, средняя температура составляет $-4,4^{\circ}\text{C}$, а самый холодный день был 10 января 1940 года, когда температура опустилась до $-31,9^{\circ}\text{C}$. Самый теплый месяц — июль, с абсолютным максимумом $+40,1^{\circ}\text{C}$, зафиксированным 1 августа 2010 года.

Средняя годовая температура воздуха в области составляет $8,2^{\circ}\text{C}$, но она повышается до $9,5^{\circ}\text{C}$ на юге и опускается до $6,5^{\circ}\text{C}$ на севере. Годовой радиационный баланс положителен и составляет $47\text{—}48$ ккал/см², причем отраженная радиация находится на уровне $23\text{--}25$ ккал/см². Общая продолжительность солнечного сияния в области варьируется от 2000 до 2200 часов в год.

Таблица 1.1. Составляющие солнечной радиации

Вид радиации	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Прямая	35	60	159	232	394	403	413	394	278	141	64	21	2548
Рассеянная	107	141	213	247	269	286	296	247	189	145	91	91	2297
Суммарная	132	201	371	469	652	687	659	61	465	296	145	145	4963
Радиационный баланс	0	26	129	213	329	359	381	325	213	90	17	17	2058



Рисунок 5. Годовой ход прямой радиации, МДж/м²

Анализ данных по прямой солнечной радиации показывает сезонное изменение интенсивности солнечного излучения в течение года. Наблюдается ярко выраженная сезонность, характеризующаяся наивысшими значениями радиации в летние месяцы (июнь, июль, август) и наименьшими значениями в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль). Этот паттерн объясняется углом падения солнечных лучей на поверхность Земли, который меняется в зависимости от сезона и широты местоположения. Суммарное количество радиации

за год (2548 единиц) свидетельствует о годовой интеграции солнечной энергии и может быть использовано для оценки общего потенциала солнечной энергии в данном регионе.

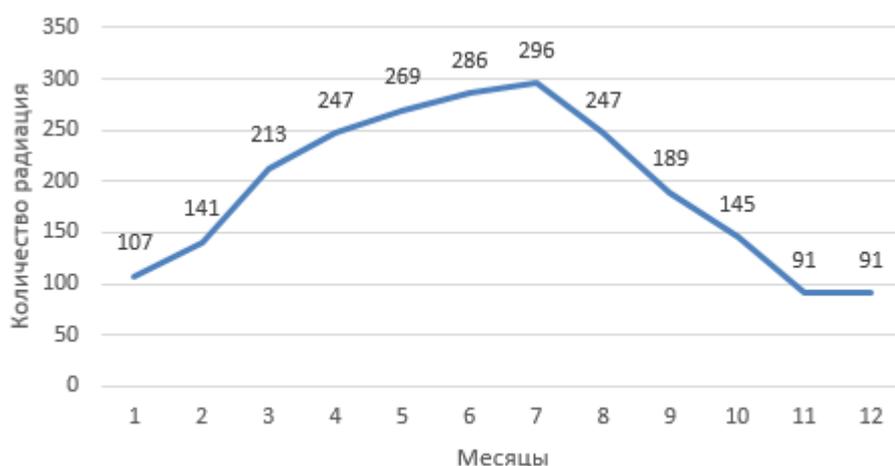


Рисунок 6. Рассеянная радиация, МДЖ/м²

Эти данные о рассеянной солнечной радиации за каждый месяц позволяют оценить колебания интенсивности солнечного излучения в течение года. Например, высокие значения в летние месяцы (июнь, июль) могут указывать на более яркое солнце и более долгие дни, в то время как более низкие значения в зимние месяцы (декабрь, январь) могут отражать меньшую интенсивность солнечного света из-за более коротких дней и более низкого положения солнца на небе.



Рисунок 7. Суммарная радиация, МДж/м²

Из данных видно, что наибольшее количество рассеянной солнечной радиации наблюдается в летние месяцы (май, июнь, июль), что соответствует сезону наибольшей солнечной активности.

Наименьшее количество радиации было зафиксировано в ноябре и декабре, что может быть связано с характеристиками климата или метеорологическими условиями в эти месяцы.

Суммарное количество рассеянной солнечной радиации за год составляет 4963 единицы.



Рисунок 8. Радиационный баланс, МДж/м²

Из данных радиационного баланса за год видно, что количество рассеянной солнечной радиации варьируется в зависимости от месяца. В самом начале года (январь-март) наблюдается низкий уровень радиации, который постепенно увеличивается к лету. Максимальное значение радиации достигается летом (июнь-июль), после чего начинает постепенно снижаться к концу года.

Анализ этих данных позволяет сделать вывод о сезонных колебаниях солнечной радиации, которые связаны с изменением угла падения солнечных лучей на поверхность Земли в разные времена года.

Количество рассеянной радиации в Ростовской области зависит от облачности. В теплый период (май-июль) оно достигает 2267 МДж/м², а в холодный период минимизируется до 2066 МДж/м².

Суммарная солнечная радиация в области составляет около 5000 МДж/м². Наибольшее количество солнечной радиации приходится на май-июль, а наименьшее — на ноябрь-январь. Прямая радиация составляет примерно 45% от общей солнечной радиации, а рассеянная радиация в теплый период составляет от 36% до 42%, а в холодный период — от 56% до 81%.

Относительная влажность воздуха в регионе составляет в среднем 62-66%, с максимальным значением в 72% летом. В холодный период (ноябрь-март) влажность повышается до 77-86%, что может вызывать дискомфорт для здоровья.

Количество осадков в области невелико. На западе и юго-западе выпадает около 520 мм осадков, а на юго-востоке — от 340 до 360 мм. Летом осадки часто являются ливневыми и сопровождаются грозами и градом.

Анализ сезонов показывает, что наибольшее количество осадков приходится на декабрь, а минимум — на октябрь (табл.1.2).

В Ростовской области обычно первый снег выпадает в конце ноября или начале декабря. Устойчивый снежный покров держится около 2-2,5 месяцев, хотя в последние годы этот период стал короче.

Таблица 1.2. Количество осадков на анализируемых станциях Ростовской области за период 1995-2015г [13]

Годы	Матвеев Курган	Константиновск	Гигант	Зимовники	Казанская	Средняя по региону
1995		560,8	544,1	490,2	661,7	564,2
1996		467,7	417,6	341,7	334,8	390,45
1997		438,9	649,3	649,6	545,6	570,175
1998		603,8	584,1	475,4	579,7	560,75
1999		575,1	536,2	439	668,4	554,675
2000		502,4	468,1	480,3	564	503,7
2001	499,1	362,7	588,3	272,5	418,8	428,28
2002	781,9	595,8	590,9	611,1	604,1	636,76
2003	529,7	593,2	388,2	493,3	604,5	521,78
2004	446,7	353,4	519,5	336,9	390,8	409,46
2005	854,4	577,7	594,6	533,9	523,1	616,74
2006	643,5	505,4	538,6	608,3	419	542,96
2007	599	608	770,2	612	579	693,64
2008	443	472	432	365	559	454,2
2009	616	562	519	468	441	521Д

С учетом того, что область является крупным сельскохозяйственным регионом, засухи и суховеи здесь происходят довольно часто. Они распределяются неравномерно по территории: в северных районах до 100 дней в году, а в юго-восточных районах от 60 до 80 дней. Максимальное количество дней с засухой обычно приходится на июль.

Эти явления часто сопровождаются низкой относительной влажностью, которая может падать до 5%, и высокими температурами воздуха до +30-40 градусов Цельсия.

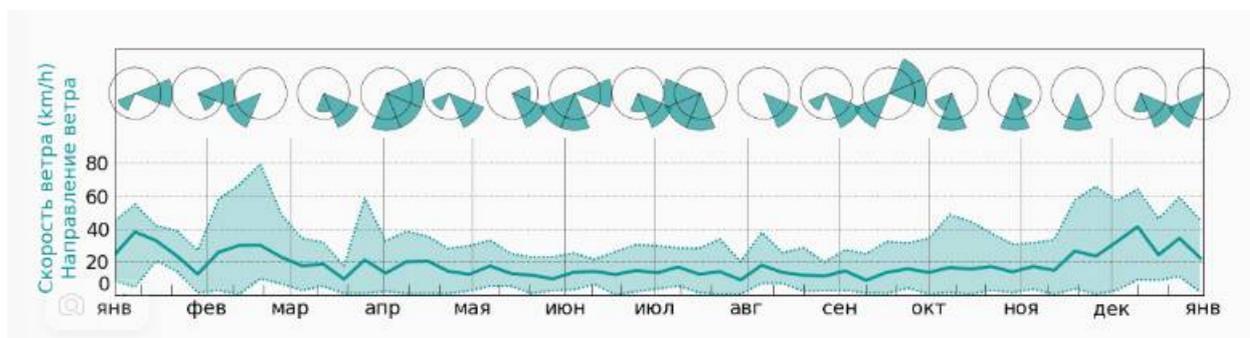


Рисунок 9. Скорость ветра и его направление

Для данной области характерен платформенный тип рельефа, так как расположен он на Русской платформе и Скифской плите, где средняя высота 125 м, а максимальная – 298 м.

1.2. Оценка развития энергетической отрасли в Ростовской области

Ветроэнергетика в Ростовской области представляет собой перспективное направление развития возобновляемых источников энергии. В регионе действуют несколько ветровых ферм, которые производят электроэнергию с использованием ветряных турбин.

Ростовская область благоприятна для развития ветроэнергетики из-за наличия значительных ветровых ресурсов. Ветровые фермы в области способствуют снижению выбросов парниковых газов и уменьшению зависимости от традиционных источников энергии.

Правительство Ростовской области активно поддерживает развитие ветроэнергетики, стимулируя инвестиции в эту отрасль и создавая условия для расширения производства электроэнергии из ветра. Это способствует развитию экологически чистого производства энергии и содействует устойчивому развитию региона.

В Ростовской области наблюдается стремительное развитие в сфере ветровой энергетики благодаря обширным территориям, высокому ветропотенциалу и инвестиционной привлекательности. Согласно данным правительства региона, здесь в настоящее время реализуется значительная часть всех проектов в России по ветровой энергетике. Важным шагом станет создание первого в России производственного кластера, объединяющего несколько предприятий, специализирующихся на производстве оборудования для ветровых электростанций.

Планируемый ветряной парк будет расположен на площади 133 гектара, а его запланированная мощность составит более 90 МВт. В целом, ветряные

электростанции смогут генерировать около 300 ГВт/ч электроэнергии ежегодно. Южная часть Таганрогского залива выбрана для размещения парка из-за интенсивных ветровых условий и наличия необходимой инфраструктуры.

Этот ветряной парк является одним из крупнейших проектов в области ветровой энергетики в России за последние годы. Ростовская область, будучи энергодефицитным регионом, обладает значительным потенциалом для производства и потребления электроэнергии, что делает этот проект ещё более значимым для региона и страны в целом.

Азовская ветряная электростанция (ВЭС) строится на территории Маргаритовского сельского поселения. Здесь планируется установить 26 ветрогенераторов для производства "зеленой" энергии. Ожидаемый годовой объем производства электроэнергии составит около 300 ГВтч. Высота ветроустановок Азовской ВЭС будет приблизительно 85 метров, а высота верхней точки лопасти достигнет 149 метров.

Особое внимание уделяется экологической составляющей проекта: благодаря использованию ветровой энергии и исключению использования ископаемых источников энергии, предполагается избежать выбросов около 260 тысяч тонн углекислого газа в атмосферу ежегодно. Это значительно снизит негативное воздействие на окружающую среду и способствует более чистому производству электроэнергии.



Рисунок 10. Азовская ВЭС

Гуковский ветропарк был запущен в эксплуатацию летом 2020 года. Здесь установлено 26 ветрогенераторов, которые поставляют произведенную электроэнергию на оптовый рынок. Длина каждой лопасти составляет 64 метра. Мощность ветропарка составляет 100 Мегаватт, что позволяет обеспечить энергией целый небольшой город. Этот ветропарк играет важную роль в производстве "зеленой" энергии и содействует устойчивому развитию энергетики. Для производства "зеленой" энергии требуется минимальная скорость ветра не менее 3 м/с. При выборе мест для строительства ветропарков учитывается именно эта характеристика для конкретной локации.



Рисунок 11. Гуковский ветропарк

В случае экстремальных скоростей ветра установки не будут наносить ущерб, так как их конструкция спроектирована для выдерживания ураганных ветров. Благодаря высокой прочности установок, они могут работать круглый год. На концах лопастей скорость может достигать 220 км/ч. Ветрогенераторы произведены полностью на территории России.

В 2020 году в Ростовской области были запущены в эксплуатацию ветроэлектростанции общей мощностью 300 МВт. Сулинская ветроэлектростанция имеет мощность 100 МВт и состоит из 26 ветрогенераторов производства компании Vestas, каждый мощностью 3,8 МВт. Доля локализации производства составляет 65

С начала 2020 года Сулинская ветроэлектростанция начала поставлять произведенную энергию на оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Этот ветропарк стал первым завершённым проектом Фонда развития ветроэнергетики.

С учетом последних событий в сфере ветроэнергетики в Ростовской области, стоит отметить, что теперь открылось не три, а пять мощных производств. Одно из таких производств находится в Таганроге на заводе «Красный Котельщик», где запущено производство башен для ветряных электростанций.



Рисунок 12. Сулинская ветроэлектростанция

Этот проект получил инвестиции в размере 772 млн. рублей, а проектная мощность завода составляет 100 трех- и четырехсекционных башен в год. Каждая из них весит 190 тонн, имеет высоту около 85 метров и диаметр 4,3 метра.

Кроме того, Каменская ветроэлектростанция теперь имеет мощность 100 МВт и состоит из 26 ветрогенераторов производства компании Vestas, каждый мощностью 3,8 МВт. Производство деталей, таких как лопасти и башни, налажено в России в городах Ульяновске и Таганроге (Ростовская область). Сборка гондол осуществляется на предприятии в Дзержинске (Нижегородская область). Степень локализации оборудования ветроэлектростанции, подтвержденная Министерством промышленности и торговли России, составляет более 65

Запуск Каменского ветропарка происходил в два этапа: первая очередь мощностью 50 МВт начала поставки на Оптовый рынок электрической энергии и мощности 1 апреля 2020 года, а 1 мая была введена в эксплуатацию вторая очередь ветроэлектростанции (табл.1.3).

В Ростовской области в 2021 году произошел значительный прорыв в развитии ветроэнергетики, превратив регион в лидера по ветрогенерации в России. За прошедший год были запущены три ветропарка общей мощностью

300 МВт, и произведенная ими электроэнергия уже поступает на оптовый рынок.

Таблица 1.3. Характеристики Каменского ветропарка [2]

Ростовская область	
Проектная мощность, мВт	200
Количество ВЭУ	52
Мощность каждой ВЭУ, мВт	3,8
Тип турбин	VESTAS V-126-3,8 MW - H87

Важным достижением стало открытие завода в Ростовской области, специализирующегося на производстве башен для ветроэнергетических установок. Этот завод ежегодно выпускает более 600 единиц оборудования и привлек более 700 млн. рублей инвестиций.

Преимущества использования ветровой энергии очевидны: это безопасный для экологии метод производства энергии, не требующий топлива для кручения лопастей ветрогенераторов. Места с постоянными скоростями воздушных масс от 5 м/с оказываются идеальными для установки ветроустановок. Важно отметить, что ветряные станции не только безопасны для окружающей среды, но и не наносят ущерб при поломках, в отличие от гидро- и атомных электростанций. Они не производят выбросов и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду. Мощность одной станции способна обеспечить электроэнергией примерно 20 тысяч жителей в течение года.

Ветровые электростанции также позволяют использовать земли под ними для сельскохозяйственных нужд, не требуя выделения мертвых зон. Это делает эксплуатацию земель более эффективной, чем при строительстве других типов энергетических объектов. Кроме того, зеленая энергия, производимая ВЭС, помогает сократить потребление органических видов топлива, таких как уголь, нефть и газ, что благоприятно сказывается на экосистеме и позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду.

1.3. Циркуляционные особенности ЮФО (Ростовская область)

Для ветроэнергетики в Ростовской области важно учитывать циркуляционные особенности ветра, которые определяются множеством факторов, таких как географическое положение, рельеф местности, температурные градиенты и давление воздуха.

1) Морской бриз и сухой бриз: В прибрежных районах, включая Ростовскую область, наблюдается явление морского бриза и сухого бриза. Морской бриз обычно дует с моря к суше днём, когда суша быстрее прогревается, а сухой бриз — с суши к морю ночью, когда суша остывает быстрее моря. Эти ветры могут быть использованы для производства электроэнергии.

2) Циклонические ветры: Циклонические ветры обычно связаны с прохождением циклонов и характеризуются изменчивостью направления и скорости ветра. Они могут создавать благоприятные условия для генерации ветровой энергии, особенно при наличии высоких скоростей ветра.

3) Антициклонические ветры: Антициклонические условия, характеризующиеся стабильным атмосферным давлением и ясной погодой, могут приводить к умеренным скоростям ветра. Однако, в некоторых случаях, антициклонические условия могут способствовать образованию слабых ветров, что может затруднять использование ветровой энергии.

4) Локальные ветры: важно учитывать также локальные особенности рельефа и местности, которые могут создавать дополнительные микроклиматические условия и ветровые потоки. Например, ущелья или перепады высот могут усилить или ослабить скорость ветра.

Исследование и анализ циркуляционных особенностей ветра в Ростовской области позволяют оптимизировать расположение и работу ветрогенераторов, учитывая потенциал для производства электроэнергии и минимизируя негативное воздействие атмосферных явлений на работу ветропарков

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА РЕЖИМА ВЕТРА В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

2.1 Классификация ветрогенераторов и их технические потребности к ветрового режиму

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) является электромеханическим устройством, которое используется для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию. Оно оснащено генератором, который преобразует эту энергию в удобную форму для использования (например, постоянный или переменный ток). Принцип работы ветроэнергетической установки заключается в следующем: ветер действует на лопасти ротора, создавая подъемную силу и крутящий момент. Это приводит к вращению ротора и запуску генератора. Вращение витков обмотки генератора в магнитном поле создает переменный ток, который зависит от скорости ветра и изменяется по фазе, частоте и амплитуде. Для преобразования переменного тока с переменной частотой в постоянный или в переменный ток с постоянной частотой используется регулятор мощности. Если требуется преобразование постоянного тока в переменный тока определенной частоты, то это выполняется с помощью инвертора.

Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) представляют собой разнообразные конструкции, использующие различные принципы для преобразования ветровой энергии в электроэнергию. В настоящее время широкое распространение получили лопастные горизонтально-осевые и вертикально-осевые ВЭУ. Они эффективны и экологически безопасны, что делает их популярными в мире.

Горизонтально-осевые ветрогенераторы — это тип ветроэнергетических установок, где ротор с лопастями расположен горизонтально и вращается вокруг оси, которая параллельна земной поверхности. Это означает, что ось вращения ротора лежит на одной плоскости с поверхностью земли и направ-

лена вдоль потока ветра. Такая конфигурация позволяет эффективно использовать кинетическую энергию ветра для преобразования ее в механическую и далее в электрическую энергию. [12]

Горизонтально-осевые ветрогенераторы являются одним из наиболее распространенных типов ветроустановок, используемых для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию. Вот некоторые аспекты и особенности применения горизонтально-осевых ветрогенераторов:

1) Эффективность: Горизонтально-осевые ветрогенераторы характеризуются высокой эффективностью за счет оптимального расположения лопастей относительно оси вращения и использования механизмов управления углом атаки. Это позволяет им эффективно захватывать энергию ветра и преобразовывать ее в механическую и затем в электрическую энергию.

2) Аэродинамические характеристики: Горизонтально-осевые ветрогенераторы обладают определенными аэродинамическими характеристиками, такими как профиль лопастей, коэффициент подъемной силы, коэффициент сопротивления и т.д. Эти параметры оптимизируются для максимального извлечения энергии из потока воздуха.

3) Управление и контроль: Горизонтально-осевые ветрогенераторы обычно оснащены системами управления и контроля, которые регулируют скорость вращения ротора и угол атаки лопастей в зависимости от скорости и направления ветра. Это позволяет оптимизировать работу ветрогенератора для максимальной эффективности.

4) Механическая надежность: Изготовление горизонтально-осевых ветрогенераторов требует высокой механической надежности компонентов, таких как лопасти, ротор, генератор и трансмиссия. Это необходимо для обеспечения длительного срока службы и минимизации потерь из-за поломок.

5) Интеграция с сетью: Горизонтально-осевые ветрогенераторы могут быть интегрированы с электрической сетью для передачи произведенной элек-

троэнергии. Это требует соответствующих систем управления и коммуникации для согласованной работы с другими источниками энергии и потребителями.

Горизонтально-осевые установки широко применяются в современных ветропарках для производства чистой и возобновляемой энергии.

Плюсы горизонтально-осевых ветрогенераторов:

1) Высокий КПД: Горизонтально-осевые ветрогенераторы обычно обладают высоким коэффициентом полезного действия (КПД), что позволяет им эффективно преобразовывать кинетическую энергию ветра в электрическую энергию.

2) Высокая производительность: благодаря оптимальной аэродинамике и конструкции лопастей, горизонтально-осевые ветрогенераторы способны генерировать значительное количество электроэнергии при оптимальных условиях ветра.

3) Эффективность при постоянном направлении ветра: Горизонтально-осевые ветрогенераторы эффективно работают при постоянном направлении ветра, что делает их подходящими для использования на открытых пространствах с постоянным ветровым потоком.

Минусы горизонтально-осевых ветрогенераторов:

1) Чувствительность к изменениям направления ветра: Горизонтально-осевые ветрогенераторы чувствительны к изменениям направления ветра, что может привести к потере эффективности и нестабильности работы при переменных условиях ветра.

2) Большие размеры: для достижения оптимальной производительности горизонтально-осевые ветрогенераторы требуют большой высоты и длины лопастей, что может усложнить установку и обслуживание установки.

3) Шум и вибрации: при работе горизонтально-осевых ветрогенераторов могут возникать шум и вибрации, что может быть нежелательным для окружающей среды и жителей близлежащих территорий.



Рисунок 13. Ветрогенератора с горизонтальным ротором[12]

Вертикально-осевая установка — это тип ветрогенератора, где лопасти вращаются вокруг вертикальной оси, в отличие от более распространенных горизонтально-осевых ветрогенераторов, где лопасти вращаются вокруг горизонтальной оси. [12]

Вот некоторые аспекты и особенности применения вертикально-осевых ветрогенераторов:

1) Турбулентность потока: Вертикально-осевые ветрогенераторы обладают способностью более эффективно работать в турбулентных потоках ветра, что делает их подходящими для установки в городских условиях или на местах с переменными направлениями ветра.

2) Самовращение: из-за вертикальной оси вращения вертикально-осевые ветрогенераторы могут обладать способностью к самовращению, что может уменьшить требования к системам управления и повысить надежность работы.

3) Меньший шум и вибрации: По сравнению с горизонтально-осевыми ветрогенераторами, вертикально-осевые могут производить меньше шума и вибраций благодаря иным аэродинамическим процессам, происходящим во время работы.

4) Устойчивость к изменениям направления ветра: Вертикально-осевые ветрогенераторы обычно более устойчивы к изменениям направления ветра,

что делает их более адаптивными к переменным условиям окружающей среды.

5) Простота конструкции: Конструкция вертикально-осевых ветрогенераторов может быть более простой и компактной, что упрощает их производство, установку и обслуживание.

6) Интеграция с зданиями: из-за своей вертикальной ориентации вертикально-осевые ветрогенераторы могут быть легче интегрированы с зданиями, что делает их привлекательным выбором для городской застройки.

Плюсы вертикально-осевых установок:

1) Меньшая высота: Вертикально-осевые ветрогенераторы обычно имеют более низкую высоту по сравнению с горизонтальными моделями, что делает их более удобными для установки в ограниченных пространствах.

2) Эффективность при переменных направлениях ветра: Этот тип ветрогенераторов может быть более эффективным при переменных направлениях ветра, так как они не требуют поворота всей конструкции для выравнивания на ветер.

3) Меньшая чувствительность к высоте установки: Вертикально-осевые ветрогенераторы могут быть установлены на более низких высотах, что может быть полезно в случаях, когда нет возможности строить высокие башни.

Минусы вертикально-осевых установок:

1) Низкий КПД: Вертикально-осевые ветрогенераторы обычно имеют более низкий коэффициент полезного действия (КПД) по сравнению с горизонтальными моделями из-за аэродинамических особенностей и турбулентности потока воздуха.

2) Меньшая производительность: из-за своей конструкции вертикальные ветрогенераторы могут генерировать меньше энергии при оптимальных условиях ветра по сравнению с горизонтальными моделями.

3) Проблемы с вибрациями и износом: из-за особенностей конструкции вертикальных ветрогенераторов они могут подвергаться большему износу и

проблемам с вибрациями, что может сказываться на долговечности и надежности работы.

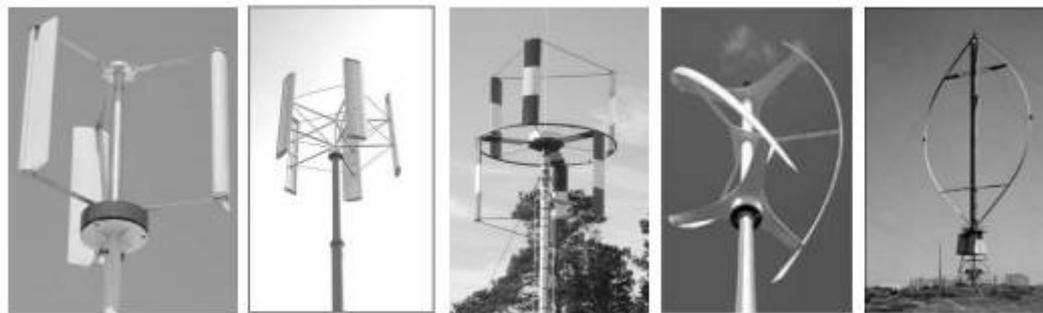


Рисунок 14. Ветроустановки с вертикальным ротором [12]

2.2. Анализ скорости ветра в Ростовской области

Весной в Ростовской области скорость ветра обычно демонстрирует относительно низкие значения из-за доминирования антициклонического типа погоды. Антициклон — это область атмосферного давления, характеризующаяся устойчивым и спокойным погодным режимом. В таких условиях ветер обычно слабый и переменчивый.

Весной происходит постепенное повышение солнечной активности, что приводит к нагреванию поверхности земли и атмосферы. Это способствует формированию обширных антициклонов, которые препятствуют развитию сильных ветров. Также весной часто отсутствуют сильные градиенты давления, что также сдерживает скорость ветра.

Кроме того, весенний период характеризуется медленным переходом от зимних к летним атмосферным условиям, что означает, что атмосфера еще не настолько нестабильна, чтобы формировать сильные ветры. Таким образом, сочетание этих факторов обуславливает относительно низкую скорость ветра в Ростовской области весной.

Летом скорость ветра в Ростовской области может измениться из-за различных факторов, включая тепловое неравновесие, географическое распределение давления и влияние морских и сухопутных бризов.

В летние месяцы происходит сильное нагревание поверхности земли и атмосферы. Этот процесс вызывает возникновение тепловых градиентов, что приводит к нестабильности атмосферы. В результате, возникают циклонические системы, которые способствуют увеличению скорости ветра.

Географическое распределение давления также играет важную роль. Летом воздушные массы нагреваются быстрее над сушей, чем над морем. Это создает различия в давлении между континентальными и морскими областями, что может усилить скорость ветра.

Морские и сухопутные бризы также влияют на скорость ветра летом. Днем суша быстрее нагревается, чем море, что приводит к образованию сухопутного бриза — ветра, дующего с суши на море. Ночью происходит обратный процесс, и формируется морской бриз — ветер, дующий с моря на сушу.

Осенью скорость ветра может измениться из-за различных факторов, включая градиенты температуры, смену атмосферного давления, циркуляционные системы и воздействие сезонных ветров.

В осенний период происходит постепенное охлаждение поверхности земли и атмосферы. Это приводит к уменьшению тепловых градиентов и снижению нестабильности атмосферы, что может сказываться на скорости ветра. Уменьшение температурных различий между различными регионами также может влиять на скорость и направление ветра.

Смена атмосферного давления осенью также играет роль в формировании скорости ветра. Перемещение циклонов и антициклонов, связанных с изменениями температуры и давления, может вызывать изменения в скорости и направлении ветра.

Циркуляционные системы, такие как Западные ветры и Южные ветры, могут также оказывать влияние на скорость ветра осенью. Эти системы могут быть активными в разные сезоны и способствовать усилению или ослаблению скорости ветра в различных регионах.

Зимой скорость ветра может быть выше по сравнению с другими временами года из-за усиления атмосферного давления на определенных широтах.

В зимний период происходит сильное охлаждение поверхности земли и атмосферы, что приводит к образованию обширных холодных воздушных масс. Эти холодные воздушные массы имеют более высокое атмосферное давление, чем окружающие теплые воздушные массы.

Разница в атмосферном давлении между областями с холодными и теплыми воздушными массами создает градиент давления, который является движущей силой для ветра. Чем больше разница в давлении между двумя областями, тем сильнее будет ветер. В зимний период этот градиент давления часто усиливается из-за более резких температурных контрастов между различными регионами.

Кроме того, зимой часто наблюдается усиление циркуляционных систем, таких как Западные ветры, которые могут вызывать увеличение скорости ветра в некоторых регионах. Эти системы формируются из-за сложного взаимодействия между поверхностью земли, океанами и атмосферой.

Для анализа средней скорости ветра в Ростовской области был взят период с 01.01.2022 по 31.12.2022, представленный данными, где каждое число соответствует среднемесячной скорости ветра в м/с. Проведем анализ этих данных:

- 1) В январе средняя скорость ветра составила 6,4 м/с, что указывает на относительно высокую скорость ветра в начале года.
- 2) В феврале скорость ветра снизилась до 4,5 м/с, что может свидетельствовать о уменьшении интенсивности ветрового движения.
- 3) В марте наблюдается повышение скорости ветра до 5,1 м/с, что может быть связано с изменениями в атмосферном давлении и циркуляции.
- 4) В апреле скорость ветра остается на уровне 5,4 м/с, что может указывать на стабильные погодные условия.
- 5) В мае скорость ветра снижается до 4,3 м/с, что может быть связано с изменением сезонных условий.
- 6) В июне скорость ветра продолжает снижаться до 3,8 м/с, возможно, из-за уменьшения градиента давления.

- 7) В июле наблюдается небольшое повышение скорости ветра до 3,9 м/с.
- 8) В августе скорость ветра увеличивается до 4,8 м/с.
- 9) В сентябре она снова снижается до 4,2 м/с.
- 10) В октябре и ноябре скорость ветра остается на относительно стабильном уровне (4,3 м/с).
- 11) В ноябре скорость ветра увеличивается до 5,3 м/с.
- 12) В декабре скорость ветра еще увеличивается 6.4 м/с.

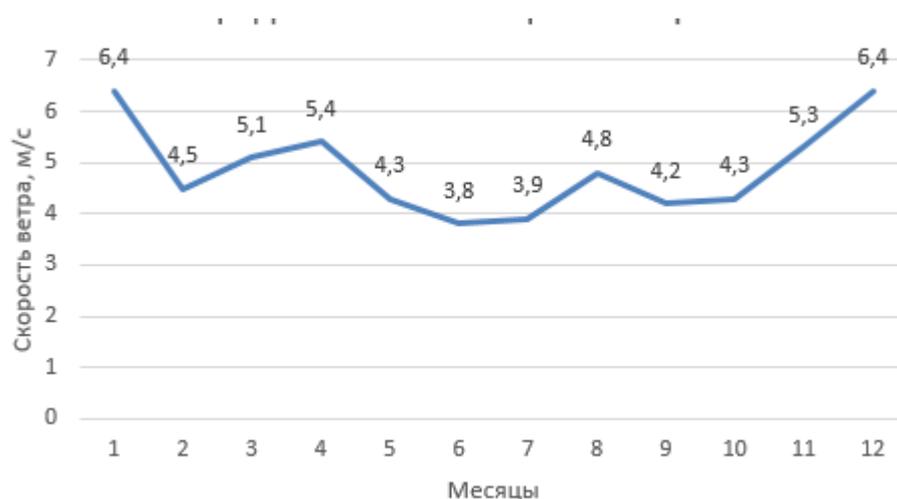


Рисунок 15. Среднемесячная скорость ветра

Рассмотрим динамику изменения средней скорости ветра по месяцам на примере данных за 2022 год в Ростовской области:

- 1) Январь: 6,4 м/с - высокая скорость ветра в начале года.
- 2) Февраль: 4,5 м/с - снижение скорости ветра.
- 3) Март: 5,1 м/с - небольшое повышение скорости.
- 4) Апрель: 5,4 м/с - стабильная скорость ветра.
- 5) Май: 4,3 м/с - снижение скорости.
- 6) Июнь: 3,8 м/с - дальнейшее снижение скорости.
- 7) Июль: 3,9 м/с - небольшой прирост скорости.
- 8) Август: 4,8 м/с - увеличение скорости.
- 9) Сентябрь: 4,2 м/с - небольшое снижение скорости.
- 10) Октябрь: 4,3 м/с - стабильная скорость.
- 11) Ноябрь: 5,3 м/с - повышение скорости.

12) Декабрь: 5,3 м/с - повышение скорости в конце года.

Таким образом, можно увидеть колебания средней скорости ветра по месяцам в течение года в Ростовской области. На основе этих данных можно провести анализ влияния сезонных изменений и других факторов на скорость ветра в регионе.

2.3 Особенности формирования розы ветров

Ростовская область, расположенная в южной части России, имеет свои особенности формирования розы ветров. Влияние рельефа, природных условий и географического положения оказывает существенное воздействие на характеристики ветров в этом регионе. Вот несколько ключевых особенностей формирования розы ветров в Ростовской области:

- 1) Влияние Черного моря и Азовского моря: Близкое расположение области к Черному и Азовскому морям оказывает заметное влияние на формирование розы ветров. Морские бризы, обусловленные разницей в температуре воды и суши, могут оказывать существенное воздействие на направление ветров.
- 2) Рельеф и природные условия: Рельеф Ростовской области характеризуется преимущественно равнинными участками, что также может повлиять на характер движения воздушных масс и формирование розы ветров.
- 3) Сезонные изменения: как и во многих других регионах, в Ростовской области наблюдаются сезонные изменения в направлении и скорости ветров. Например, летом могут преобладать ветры с моря, а зимой — сухие и холодные ветры с континента.
- 4) Влияние климатических факторов: Климатические условия, такие как атмосферное давление, температура и влажность, также оказывают влияние на формирование розы ветров в данном регионе.

Роза ветров за январь 2020 года

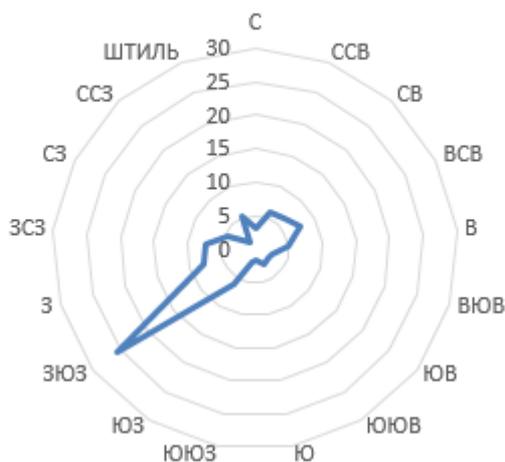


Рисунок 16. Роза ветров Ростовской области

- 1) Наиболее часто в данном регионе в январе дует ветер с направления ЗЮЗ (25,8%) и ВСВ (7,4%), что указывает на преобладание ветров, идущих от юго-запада к северо-востоку и от востока к северо-западу.
- 2) Вторым по частоте направлением является З (7,9%), что также означает значительное количество ветров, дующих с запада на восток.
- 3) Наименее часто в данном регионе дуют ветры с направлений ССЗ (1,2%) и Ю (1,6%), что может свидетельствовать о их меньшем влиянии на климат вашего региона.
- 4) Направления ШТИЛЬ (5,4%), СЗ (4,4%) и ЮЗ (6,2%) также имеют заметную частоту, указывая на возможные периоды, когда ветер дует из этих направлений.

Таким образом, анализ розы ветров позволяет сделать вывод о преобладании ветров от юго-запада к северо-востоку и от востока к северо-западу в вашем регионе, а также наличии влияния западных и южных направлений на климатические условия.

Роза ветров за апрель 2020 года

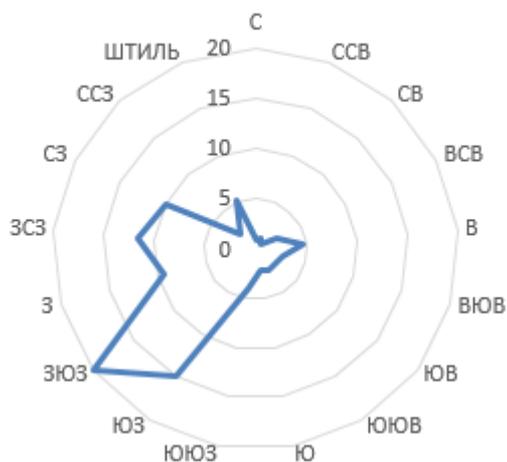


Рисунок 17. Роза ветров Ростовской области

- 1) Наиболее часто в данном регионе в апреле дует ветер с западного направления (20%), что указывает на преобладание ветров, идущих с запада на восток.
- 2) Вторым по частоте направлением является юго-западное направление (14.9%), что также означает значительное количество ветров, дующих с юго-запада на северо-восток.
- 3) Наименее часто в данном регионе дуют ветры с северного и северо-западного направлений (0.8% и 2.1% соответственно). Это может означать, что ветры с севера и северо-запада не так часто влияют на климат вашего региона.
- 4) Северо-восточное (2.4%) и южное направления (2.2%) также имеют некоторую частоту, что указывает на периоды, когда ветер дует именно из этих направлений.

Роза ветров за июль 2020 года

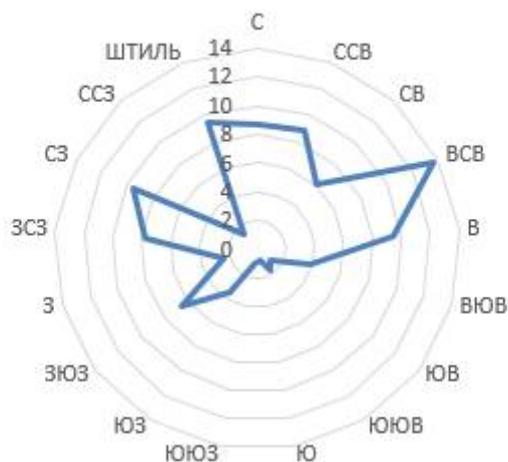


Рисунок 18. Роза ветров Ростовской области

- 1) Наиболее часто в данном регионе в июле дует ветер с восточного направления (13.6%), что указывает на преобладание ветров, идущих от востока к западу.
- 2) Вторым по частоте направлением является западное направление (9.5%), что также означает значительное количество ветров, дующих с запада на восток.
- 3) Наименее часто в данном регионе дуют ветры с южного и северного направлений (0.8% и 4% соответственно). Это может указывать на то, что ветры с юга и севера не так часто влияют на климат вашего региона.
- 4) Северо-восточное (6.2%) и юго-западное (1.2%) направления имеют заметную частоту, что указывает на периоды, когда ветер дует именно из этих направлений.

Роза ветров за октябрь 2020 года

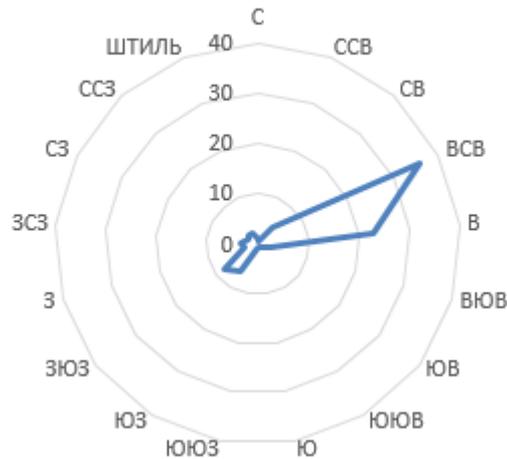


Рисунок 19. Роза ветров Ростовской области

- 1) Наиболее часто в вашем регионе дует ветер с восточного направления (35.9%), что указывает на преобладание ветров, идущих от востока к западу.
- 2) Вторым по частоте направлением является западное направление (22.9%), что также означает значительное количество ветров, дующих с запада на восток.
- 3) Наименее часто в вашем регионе дуют ветры с южного и северного направлений (0.8% и 4% соответственно). Это может указывать на то, что ветры с юга и севера не так часто влияют на климат вашего региона.
- 4) Северо-восточное (4.6%) и юго-западное (6.2%) направления имеют заметную частоту, что указывает на периоды, когда ветер дует именно из этих направлений.

2.4 Повторяемость скоростей ветра при различных направлениях

Ростовская область, расположенная в Южном федеральном округе России, имеет свои уникальные географические особенности, которые оказывают влияние на формирование ветровых потоков и их повторяемость.

Повторяемость скоростей ветра при различных направлениях в Ростовской области может быть обусловлена несколькими факторами:

- 1) Географическое положение: Ростовская область расположена в южной части России и имеет разнообразный ландшафт — от степей до лесов и рек. Географические особенности могут влиять на формирование ветровых потоков и их повторяемость.
- 2) Климатические условия: Климат Ростовской области характеризуется теплыми летами и мягкими зимами. Это также может оказывать влияние на повторяемость скоростей ветра при различных направлениях.
- 3) Близость моря: Ростовская область граничит с Азовским морем, что может приводить к формированию специфических ветровых режимов и повышенной повторяемости определенных направлений ветра.
- 4) Сезонные изменения: В разные сезоны года характер ветровых потоков и их направлений может меняться, что также может влиять на повторяемость скоростей ветра.

Факторы географического положения, влияющие на повторяемость скоростей ветра:

- 1) Горный рельеф: Восточная часть области граничит с Северным Кавказом, где присутствуют горные хребты. Это может вызывать изменения в направлении и скорости ветра из-за взаимодействия воздушных масс с горами.
- 2) Реки и водоемы: Ростовская область пересекается рядом рек, таких как Дон и его притоки. Близость водных объектов может влиять на формирование ветровых потоков, особенно вблизи рек и озер.
- 3) Близость Азовского моря: Южная часть области прилегает к Азовскому морю. Это может приводить к формированию морских бризов — ветров, дующих от моря к суше днем и наоборот ночью.
- 4) Прибрежные районы: Прибрежные районы обычно испытывают влияние морских ветров и изменений погоды из-за близости к морю.
- 5) Тип почв: Ростовская область имеет разнообразные типы почв, что также может повлиять на формирование ветровых потоков из-за различий в теплоемкости и проводимости почв.

Факторы климатические условия, влияющие на повторяемость скоростей ветра:

- 1) Температура: Разница в температуре между различными районами или между сушей и морем может вызывать изменения в атмосферном давлении, что в свою очередь приводит к формированию ветровых потоков.
- 2) Местные особенности: например, наличие горных хребтов или рек может изменять направление и скорость ветра, создавая местные ветровые системы.
- 3) Морские и сухопутные бризы: Близость Азовского моря может приводить к формированию морских бризов — ветров, дующих с моря на сушу днем и наоборот ночью.
- 4) Сезонные изменения: В разное время года климатические условия меняются, что также влияет на характер и повторяемость ветровых потоков.
- 5) Природные ландшафты: Растительность, тип почвы и другие природные особенности могут также оказывать влияние на формирование ветровых систем.

Факторы близости моря, влияющие на повторяемость скоростей ветра

- 1) Морские бризы: Дневные морские бризы — это ветры, дующие с моря на сушу днем. В результате нагревания земной поверхности суши, воздух над сушей становится горячим и поднимается, а прохладный воздух над морем движется к суше, создавая морскую бризу. Этот процесс повторяется ежедневно и характерен для побережий, что обуславливает повторяемость ветровых потоков.
- 2) Ночные сухопутные бризы: ночью происходит обратный процесс — суша остывает быстрее, чем море, и воздух над сушей начинает опускаться, а теплый воздух над морем движется к суше, создавая ночные сухопутные бризы.
- 3) Температурные градиенты: Близость моря создает различия в температуре между морем и сушей, что является одним из ключевых факторов, влияющих на формирование ветровых потоков.

- 4) Влажность: Морской воздух обычно более влажный, чем континентальный, что также может повлиять на формирование ветровых систем и климатические условия в регионе.

Факторы сезонного изменения, влияющие на повторяемость скоростей ветра:

- 1) Летние и зимние муссоны: В летний период воздушные массы с моря на континент проникают более активно, создавая летние муссоны. Это может привести к увеличению влажности и осадков. В зимний период направление ветров меняется, и воздушные массы начинают двигаться с континента на море, что также влияет на климат и ветровые потоки.
- 2) Температурные различия: Сезонные изменения температуры морской и сухопутной поверхности также играют роль. В летний период море может быть прохладнее суши, что способствует формированию морских бризов и других ветровых систем.
- 3) Распределение давления и температуры: Сезонные изменения в распределении атмосферного давления и температуры также оказывают влияние на формирование ветровых потоков. В зависимости от времени года и характеристик атмосферы, могут меняться направление и скорость ветров.

Воздушные черноморские массы в основном располагаются на юге области, где их приход сопровождается вторжением теплого и влажного воздуха. Зимние заморозки сменяются потеплениями, а снег уступает место осадкам, туманам и гололеду. Летняя жара сменяется прохладой с ливнями и грозами.

Согласно среднегодовому ходу повторяемости ветров в Ростовской области, преобладают ветры восточных направлений – 53% (Ростов-на-Дону), из них восточный ветер – 31%, а ветры с западной составляющей – 35%. Средняя годовая скорость ветра составляет 4,5 м/сек.

Ростовская область является довольно ветреным регионом. Более слабые ветры (4,0 м/сек) преимущественно характерны для центральной части Ростовской области и Манычской низменности, в то время как сильные ветры (более 5 м/сек) наблюдаются в юго-восточной части области (табл.2.1).

Таблица 2.1. Ветровой режим центральной части Ростовской области за 1970 год

Месяц	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °
Январь	4,36	237
Февраль	4,3	203
Март	4,22	123
Апрель	4,34	119
Май	3,89	111
Июнь	3,62	117
Июль	3,66	114
Август	4,05	105
Сентябрь	4,23	111
Октябрь	4,46	115
Ноябрь	4,12	12
Декабрь	4,12	126
Среднее за год	4,11	

В Ростовской области скорость ветра обычно снижается весной (от 5,6 до 3,5 м/сек) и увеличивается к зиме (5,6 м/сек). Сильные порывы ветра (более 15 м/сек) чаще всего наблюдаются в районе Азовского моря (28–45 дней). Рекордно высокая скорость ветра была зафиксирована в мае 1948 года (67 м/сек), а в 1970 году достигала 49 м/сек.

Средняя многолетняя скорость ветра варьируется от 4,11 до 6,12 м/сек. Весной и осенью скорость ветра обычно составляет 4-6 м/сек, зимой — от 5 до 7 м/сек, преимущественно с восточным направлением. Также не редки снежные бури.

Летом воздушные массы замедляют свой ход, что способствует возникновению пыльных бурь и суховеев. За последние годы можно выделить преобладающие направления ветров. Осенью наблюдаются северо-восточные

ветра (примерно 40% времени), в то время как летом преобладают западные и северо-западные ветра (примерно 19-22% времени).

В последние годы наблюдается увеличение частоты северо-восточных ветров осенью, достигая примерно 40% времени, в то время как летом преобладают западные и северо-западные ветры, занимая около 19-22% времени. Остальные направления ветра проявляются гораздо реже.

Что касается приземных инверсий, их повторяемость в среднем составляет около 31%, а застои воздуха, возникающие при сочетании приземных инверсий и слабых ветров, происходят лишь в 8% случаев (табл.2.2).

Таблица 2.2. Повторяемость ветров по сезонам Ростовской области за 2017-2020г. [3]

Год	Сезон	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
2017	Зима	4	11,3	39	4	10,3	13	16	5,7
2018	Весна	4	11	38,3	4,5	11,3	14	16,3	6,3
2019	Лето	2	11,5	37,9	5,6	12,1	11,1	15,8	5,2
2020	Осень	4	12,3	40,1	6	13	12,1	18,3	6
Средне за период		3,5	11,5	38,8	5,1	11,7	12,6	16,6	5,8

Циклоны играют важную роль в формировании ветровых потоков и их повторяемости в Ростовской области. Вот как это происходит:

- 1) Циркуляция воздуха: Циклоны — это области низкого атмосферного давления, вокруг которых воздух циркулирует по часовой стрелке на северном полушарии и против часовой стрелки на южном. При движении циклона через Ростовскую область, он может вызывать изменения в направлении и скорости ветра в этом регионе.
- 2) Фронтальные зоны: Циклоны связаны с фронтальными зонами, где происходит столкновение различных воздушных масс. Это может приводить к усилению ветровых потоков и изменению их направления в зависимости от того, какие воздушные массы преобладают.
- 3) Погодные явления: Циклоны часто сопровождаются различными погодными явлениями, такими как дождь, снег, грозы и туманы. Эти явления

могут повлиять на интенсивность и характеристики ветровых потоков в Ростовской области.

- 4) Повторяемость: Циклоны могут двигаться через регион с определенной периодичностью, что создает повторяемость ветровых условий. Например, если циклоны часто проходят через Ростовскую область в определенное время года, это может привести к повторяемости определенных ветровых шаблонов.

Циклоны, воздушные массы и погодные системы в Ростовской области обычно формируются под влиянием различных факторов. Вот несколько основных источников, откуда могут приходиться циклоны в этот регион:

- 1) Атлантический океан: Циклоны могут образовываться в районе Атлантического океана и перемещаться на восток, достигая Ростовской области. Влажные воздушные массы, переносимые с Атлантики, могут вызывать дождливую и ветреную погоду.
- 2) Каспийское море: иногда циклоны могут формироваться в районе Каспийского моря и двигаться на юг или юго-запад, затем поворачивая на северо-запад и достигая Ростовской области. Эти циклоны также могут принести с собой осадки и изменения ветровых условий.
- 3) Уральские горы: Воздушные массы, проходя через Уральские горы, могут изменять свое направление и создавать условия для формирования циклонов, которые затем движутся к западу или юго-западу и влияют на погоду в Ростовской области.
- 4) Средиземноморье: иногда циклоны могут образовываться в районе Средиземноморья и двигаться на восток или юго-восток, достигая Черного моря и далее — Ростовскую область. Эти циклоны также могут принести с собой осадки и изменения температуры.

Антициклоны — это области повышенного атмосферного давления, в которых воздушные массы движутся по часовой стрелке на северном полушарии и против часовой стрелки на южном полушарии. Вот как антициклоны

могут влиять на формирование ветровых потоков и их повторяемость в Ростовской области:

- 1) Спокойная и солнечная погода: Антициклоны обычно связаны с хорошей погодой, отсутствием осадков и ясным небом. В таких условиях ветры обычно слабые, что может привести к образованию туманов или инверсий температуры.
- 2) Стабильные ветровые условия: под влиянием антициклонов ветры обычно довольно стабильны и имеют постоянное направление. Это может привести к повышенной повторяемости ветровых потоков в течение длительного времени, особенно если антициклон стоит на месте.
- 3) Температурные инверсии: в условиях антициклона может возникать температурная инверсия, когда теплый воздух находится выше холодного воздуха. Это может привести к замедлению вертикальной циркуляции воздуха и уменьшению скорости ветра.
- 4) Влияние соседних циклонов: Антициклоны могут взаимодействовать с соседними циклонами, что также может повлиять на формирование ветровых потоков и их повторяемость. Например, при перемещении циклона вблизи антициклона могут измениться направление и скорость ветра.

В Ростовской области антициклоны могут формироваться под воздействием различных факторов и происходить из различных направлений. Вот несколько общих источников, откуда могут идти антициклоны в этом регионе:

- 1) Северный Кавказ и Черное море: Антициклоны могут формироваться на северном склоне Кавказа или над Черным морем и перемещаться в сторону Ростовской области. Эти антициклоны могут принести сухую и стабильную погоду.
- 2) Азовское море и Каспийское море: Воздушные массы над Азовским и Каспийским морями также могут способствовать формированию антициклонов, которые затем могут двигаться к Ростовской области.

- 3) Средиземноморье и Ближнее Зарубежье: иногда антициклоны могут формироваться на Средиземноморье или в районе Ближнего Зарубежья и затем перемещаться на территорию Ростовской области, принося сухую и ясную погоду.
- 4) Центральная Россия и Урал: в некоторых случаях антициклоны могут образовываться на территории Центральной России или на Урале и распространяться на юг, включая Ростовскую область.

ГЛАВА 3 АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО КАДАСТРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время существуют различные виды кадастров. Основное их назначение это учет различных видов природный ресурсов с целью их использования в различных отраслях для получения добавочной стоимости производимой продукции или предоставляемых услуг. На ряду земельного кадастра существуют так же лесной, кадастр, водный и т.д. Особое место среди множества кадастров занимает кадастр, территориальных природных ресурсов, которые используются для экономических целей. В виду того, что ветер, сила энергии ветра используется для выработки ветроэнергии, то возникает необходимость разработки ветрового кадастра для соответствующих территорий.

Ветровой кадастр представляет с собой прежде всего количественные характеристики ветрового режима [2]:

- Средняя месячная скорость ветра;
- Среднегодовая скорость ветра;
- Суточные скорости ветра;
- Повторяемость скорости ветра в различных градациях;
- Продолжительность времени застоя и рабочих периодов;
- Удельная мощность ветрового потока;
- И т.д.

На основе количественных характеристик ветрового кадастра можно оценить энергетический потенциал ветра для интересующих территорий. Для оценки ветроэнергетического потенциала Ростовской области через анализ характеристик ветрового кадастра следует учитывать несколько ключевых аспектов. Вот некоторые из них:

- 1) Исторические данные о скорости и направлении ветра: Сбор и анализ данных о скорости и направлении ветра за длительный период времени позволяют определить характеристики ветрового режима в регионе.
- 2) Географические особенности: Учет ландшафта, рельефа и природных препятствий, которые могут влиять на скорость и направление ветра.
- 3) Топография: Анализ топографических карт для определения возможных мест с высоким потенциалом для размещения ветрогенераторов.
- 4) Метеорологическое моделирование: Использование специализированных программных инструментов для прогнозирования ветрового потенциала на основе имеющихся данных.
- 5) Экономический анализ: Оценка экономической целесообразности разветвления ветроэнергетики в регионе, учитывая затраты на строительство и эксплуатацию ветропарков.
- 6) Правовые и административные аспекты: Изучение законодательства и требований к размещению ветроустановок в регионе.

Пример разработки ветрового кадастра и оценки ветроэнергетического потенциала проведем на основе данных метеорологической станции Платово Ростовской области

3.1 Оценка продолжительности скоростей ветра в рабочих и нерабочих диапазонах

Оценка продолжительности скоростей ветра в рабочих диапазонах ветряных энергостанций играет ключевую роль в оптимизации работы этих станций. Проектирование и эксплуатация ветряных энергостанций требует учета различных параметров скорости ветра, таких как средняя скорость, максимальная скорость, минимальная скорость и продолжительность скорости ветра в определенных диапазонах.

Для оценки продолжительности скоростей ветра в рабочих диапазонах ветряных энергостанций обычно используются данные измерений скорости

ветра на определенной высоте над уровнем земли. Эти данные позволяют определить, сколько времени в течение года скорость ветра находится в определенных диапазонах, которые могут быть оптимальными для работы ветряной установки.

Продолжительность скоростей ветра в рабочих диапазонах может быть использована для принятия решений о выборе оборудования, оптимизации работы ветряной установки, планирования технического обслуживания и прогнозирования производства энергии.

Важно учитывать, что продолжительность скоростей ветра может сильно различаться в разных регионах и на различных высотах. Поэтому для каждого конкретного проекта необходимо провести анализ данных скорости ветра и оценить продолжительность скоростей в различных диапазонах для оптимальной работы ветряной энергостанции.

Для ветряных энергостанций существует определенный диапазон скоростей ветра, в пределах которого они могут эффективно работать. Обычно ветряные турбины начинают генерировать электроэнергию при скорости ветра около 3-4 м/с и достигают максимальной производительности при скоростях ветра от 12 до 25 м/с (в зависимости от конкретной модели турбины).

Однако, при очень низких скоростях ветра (менее 3 м/с) или очень высоких скоростях ветра (более 25 м/с), ветряные энергостанции могут работать менее эффективно или вовсе останавливаться из-за безопасности и защитных механизмов.

Таким образом, можно сказать, что диапазон скоростей ветра, который считается не рабочим для ветряных энергостанций, находится за пределами обычного рабочего диапазона турбин, то есть менее 3 м/с или более 25 м/с.

Для анализа продолжительности скоростей ветра в рабочих и нерабочих диапазонах был взят архив погоды в Платове Ростовской области за 2020 год. Оценка режима скорости ветра была проведена в гл.2. Далее на основе ежедневных данных определяем повторяемость скоростей ветра по градациям. Результаты анализа представлены на рисунке 20.

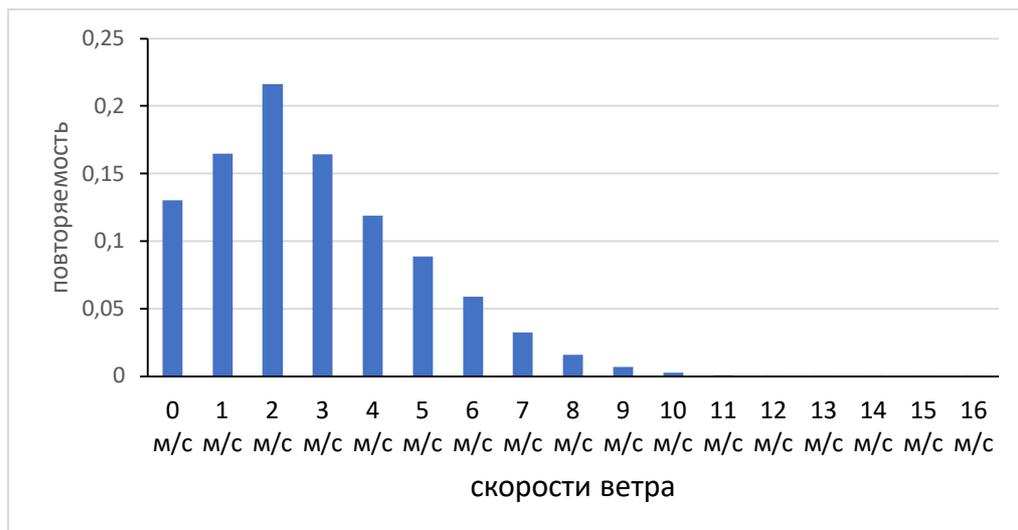


Рисунок 20. Повторяемость скорости ветра

Для анализа продолжительности скоростей ветра в рабочих и нерабочих диапазонах, мы можем использовать данные о количестве не рабочих часов в диапазоне скоростей от 0 до 3 м/сек (4480 часа) и рабочих часов в диапазоне скоростей ветра от 3 до 25 м/сек (4280 часов) из общего количества часов (8760 часов).

Мы можем рассчитать процентное соотношение рабочих и нерабочих часов относительно общего количества часов:

- Доля рабочих часов: $(4280 / 8760) * 100 \approx 48.9\%$
- Доля нерабочих часов: $(4480 / 8760) * 100 \approx 51.1\%$

Исходя из этих данных, можно сделать вывод о том, что около 48.9% времени скорость ветра находится в рабочем диапазоне для ветряных электростанций, а примерно 51.1% времени скорость ветра находится в нерабочем диапазоне.

3.2 Анализ ветроэнергетических ресурсов Ростовской области

В Ростовской области наблюдается значительный рост ветроэнергетики, что делает ее одним из лидирующих регионов России. Доля ветровой энергии в общем объеме установленной мощности составляет 7.8%, превышая средний

показатель по России в 9 раз. Этот фактор играет важную роль в обеспечении баланса энергосистемы региона и способствует диверсификации источников энергии.

Таблица 3.1. Установленная мощность по типам электростанций Ростовской области. [9]

Тип	Установленная мощность (МВт)	Доля
Атомные электростанции	4071.9	52.0%
Тепловые электростанции	2938.1	37.5%
Гидроэлектростанции	211.5	2.7%
Ветряные электростанции	607.3	7.8%
Электростанции пром. предприятий	6.0	0.1%
Всего	7834.8	100.0%

Развитие ветроэнергетики в Ростовской области и других южных регионах России обусловлено высоким техническим потенциалом энергии ветра, который составляет 530-1800 миллионов киловатт-часов в год. Хотя этот показатель не является самым высоким в России (1800-2300 миллионов киловатт-часов в год), ряд регионов Сибири и Дальнего Востока обладают большим потенциалом.

Политика развития возобновляемых источников энергии стала ключевым фактором ускорения проектов по строительству ветряных электростанций в южных регионах России, включая Ростовскую область. Кризис в угольной промышленности на Восточном Донбассе и наличие незанятых земель, не подходящих для сельского хозяйства, также способствуют активизации этого процесса.

Таким образом, развитие ветроэнергетики в данном регионе не только помогает диверсифицировать источники энергии, но также способствует улучшению экологической ситуации и сокращению выбросов парниковых газов.

В настоящее время в регионе действует шесть ветропарков (см. Таблицу 3.2). Согласно текущему законодательству, эти ветропарки функционируют как часть оптового рынка электроэнергии и не предоставляют прямую энергию конечным потребителям. Эксплуатация ветроэнергетических установок имеет свои технические особенности: из-за переменной скорости и направления ветра нецелесообразно прямое подключение потребителей, что не обеспечивает надежное электроснабжение. Кроме того, интеграция ветроэнергетики в общую энергосистему вызывает технологические проблемы, затрудняющие стабильную работу и контроль за системой.

Таблица 3.2. Действующие ветропарки Ростовской области. [9]

Наименование ВЭС	Установленная мощность (МВт)
Сулинская ВЭС	98.8
Каменская ВЭС	98.8
Гуковская ВЭС	98.8
Казачья ВЭС	100.8
Азовская ВЭС	90.1
Марченковская ВЭС	120.0
Всего	607.3

В ближайшие три года в рамках программы развития электроэнергетики региона планируется запустить девять новых ветряных установок общей мощностью 312.6 МВт, что приведет к увеличению объемов ветрогенерации в регионе более чем в полтора раза. Согласно данным [6], даже среди регионов Юга России, который в целом является лидером в реализации проектов возобновляемой энергетики, Ростовская область выделяется значительными инвестициями в развитие ветроэнергетики. Экспертная оценка указывает на планируемые вложения в развитие ветровой энергетики региона на уровне 140 миллиардов рублей в течение следующих 6 лет.

Таблица 3.3. Ввод ВЭУ в энергосистему Ростовской Области. [9]

Электростанция	Генерирующая компания	Мощность (МВт)	Год ввода
Пилотная ВЭС-134	АО «ВетроОГК-2»	54	2025
Пилотная ВЭС-135	АО «ВетроОГК-2»	54	2025
Пилотная ВЭС-136	АО «ВетроОГК-2»	47.1	2025
Вербная ВЭС (6 агрегатов)	АО «ВетроОГК-2»	157.5	2024
Всего		312.6	

3.3 Оценка объемов вырабатываемой электроэнергии для определения ветроэнергетического потенциала территории

Определив характеристики ветрового режима в рамках разработки ветрового кадастра, перейдем оценке энергетических параметров. Среди эти параметров необходимо определить среднегодовую удельную энергию ветрового потока и среднегодовую удельную мощность.

Среднегодовая удельная энергия ветрового потока $W_{уд.п}$ (энергия, протекающая за 1 год через 1 м^2 поперечного сечения ометаемой площади) зависит от повторяемости скоростей ветра, т.е. какую долю годового времени t_i ветер дул со скоростью V_i (3.1) [4,12]:

$$W_{уд.п} = \frac{1}{2} \rho T \sum_{i=1}^k t_i V_i^3. \quad (3.1)$$

где k – число градаций ветра; T – число часов в году, 8760 ч.

Зная среднегодовую скорость ветра, его вертикальный профиль и повторяемость скорости ветра, можно дать энергетическую характеристику ветрового потока в любом районе.

Среднегодовая удельная мощность ветрового поток (3.2)

$$P_{cp} = \frac{W_{уд}}{T} \quad (3.2)$$

Для расчета удельной энергии ветрового потока используем данные в таблице 3.4

Таблица 3.4. Продолжительность рабочих периодов и периодов затиший за год

Скорость ветра	Повторяемость, доля	Продолжительность, час
0 м/с	0,13028	1141,2528
1 м/с	0,16473	1443,0348
2 м/с	0,2164	1895,664
3 м/с	0,16437	1439,8812
4 м/с	0,11871	1039,8996
5 м/с	0,08841	774,4716
6 м/с	0,05864	513,6864
7 м/с	0,03218	281,8968
8 м/с	0,01569	137,4444
9 м/с	0,00665	58,254
10 м/с	0,00244	21,3744
11 м/с	0,00077	6,7452
12 м/с	0,00034	2,9784
13 м/с	0,00017	1,4892
14 м/с	0,00013	1,1388
15 м/с	5,00E-05	0,438
16 м/с	2,00E-05	0,1752
итого	1	8760

Согласно ф.3.1. и 3.2. получаем:

Среднегодовая удельная энергия ветрового потока – 364658,7 кВт/м²

Среднегодовая удельная мощность ветрового поток – 41,6 кВт/м²

Для оценки потенциальной ветроэнергетических ресурсов необходимо оценить мощность вырабатываемой энергии единичной ВЭУ в кВт (ф.3.3).

Мощность вырабатываемой энергии единичной ВЭУ в кВт зависит от диаметра ротора и скорости ветра на высоте ротора [4, 12].

$$N_0 = 4,81 \cdot 10^{-4} \cdot D^2 \cdot V_p^3 \cdot \varepsilon \cdot \eta_p \cdot \eta_r \quad (3.3)$$

где D – диаметр ветроколеса, м; V_p – расчётная скорость ветра на высоте ротора, м/с; η_p и η_r – КПД редуктора и генератора (0,85 и 0,45 соответственно), $\varepsilon=0,45$.

Выбираем условный ветрогенератор с высотой ротора 50 м:

Диаметр ветроколеса (м)	16
Номинальная мощность Вт	10 000
Максимальная мощность Вт	11 200
Стартовая скорость ветра	2,5 м/с
Номинальная скорость ветра	9 м/с
Рабочая скорость ветра	3-20 м/с

Рассчитаем вырабатываемую энергию для рабочих скоростей ветра при этом отметим, что скорость ветра на высоте 10 м 2 м/сек, на высоте 50 м становится рабочей скоростью в виду увеличения скорости ветра с высотой по степенной функции. Для расчета воспользуемся таблицей 3.5.

Таблица 3.5. Годовая выработка электроэнергии

Скорость ветра	Повторяемость, доля	Продолжительность, час	Выработка единичного генератора	Годовая выработка по скорости ветра
2 м/с	0,2164	1895,664	0,169435136	321,1920877
3 м/с	0,16437	1439,8812	0,571843584	823,3868259
4 м/с	0,11871	1039,8996	1,355481088	1409,564241
5 м/с	0,08841	774,4716	2,647424	2050,354701
6 м/с	0,05864	513,6864	4,574748672	2349,986176
7 м/с	0,03218	281,8968	7,264531456	2047,848171
8 м/с	0,01569	137,4444	10,8438487	1490,426279
9 м/с	0,00665	58,254	15,43977677	899,4287558
10 м/с	0,00244	21,3744	21,179392	452,6967964
11 м/с	0,00077	6,7452	28,18977075	190,1456417
12 м/с	0,00034	2,9784	36,59798938	109,0034516

13 м/с	0,00017	1,4892	46,53112422	69,29415019
14 м/с	0,00013	1,1388	58,11625165	66,18278738
15 м/с	5,00E-05	0,438	71,480448	31,30843622
16 м/с	2,00E-05	0,1752	86,75078963	15,19873834
итого	1,0	8760		12326,01724

В итоге за год генератор выработает - 12326 кВт / год.

Если принять во внимание, что частный дом за год потребляет примерно 20 – 25 тыс. кВт за год, то выработанной ветрогенератором электроэнергии, при существующем режиме ветра, не позволит полностью обеспечить частный дом электроэнергией. Необходимо установка второго ветрогенератора. Поэтому возникает задача по оценке потенциальной ветровой энергии на интересующей территории.

Полное использование энергии ветра на высоте h осуществляется ветроэнергетической системой, в которой ряды ветроэнергетических установок, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, отстоят друг от друга на расстоянии $(10...20) h$, так что полная ветровая энергия, захватываемая установками на площади территории $S, м^2$, в год, представляет валовой потенциал территории W_v , кВт·ч/год, который при удельной энергии ветра $W_{уд}$, кВт·ч/($м^2 \cdot год$), равен (3.4):

$$W_v = W_{уд} \frac{S}{20} \quad (3.4)$$

где $S=10^6 м^2$.

В нашем случае в интересующем районе на площади $S=10^6 м^2$, согласно ф.3.4 м валовая потенциальная энергия территории 18232935000 кВт·ч/($м^2 \cdot год$). Такая величина валовой потенциальной энергии ветра может обеспечить около 700 тыс. домовладений на основе использования системы ветрогенерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование ветрового режима для оценки ветроэнергетического потенциала территории представляет собой важный шаг в развитии возобновляемых источников энергии. Анализ позволяет определить наиболее перспективные участки для размещения ветрогенераторов, учитывая особенности климата и географии региона.

В ходе исследования были проанализированы скорости и направления ветра, а также проведена оценка данных за длительный период времени. Полученные результаты позволили выявить основные закономерности ветрового режима на изучаемой территории и определить потенциал для производства ветроэнергии.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод о высоком потенциале использования ветра как источника энергии на территории Ростовской области в районе метеостанции Платово, где потенциальная территориальная валовая ветроэнергия позволит обеспечить электроэнергией около 700 тыс частных домовладений при их годовой потребности, примерно 25 тыс. кВт в год.

При рекомендации по размещению ветрогенераторов следует учитывать, что объем вырабатываемой единичным ветрогенератором электроэнергия зависит от скорости приземного ветра и ветра на высоте генератора, диаметра ветроколеса (ротора) и годовой продолжительности «рабочих скоростей ветра».

Ростовская область известна своими ветрами. На побережье Азовского моря ветры со скоростью более 15 м/сек присутствуют до 48 дней в году. В центральной части региона скорость ветра обычно составляет около 4,0 м/сек, тогда как на юго-востоке она может достигать 5 м/сек. Скорость ветра снижается с зимы до лета, изменяясь от 5,6 до 3,5 м/сек, а затем повышается с осени до зимы, достигая 5,6 м/сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВИЭ в России: как развивается ветроэнергетика. [Электронный ресурс]. URL: <https://recyclemag.ru/article/rossii-razvitie-skorostyu-vetra>
2. Расчет ресурсов ветровой энергетики. Под ред. В.И.Виссарионова. М.: Издательство МЭИ, 1997, 32 с.
3. Нетрадиционные и возобновляемые источники Энергии
4. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА. РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВЕТРОУСТАНОВОК МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ, Каргиев В.М., Мартиросов С.Н., Муругов В.П., Пинов А.Б., Сокольский А.К., Харитонов В.П., 2001г. 9-11с
5. Значение направления и скорости ветра в г. Ростов-на-Дону [Электронный ресурс]. URL: <https://www.betaenergy.ru/windspeed/rostov-nadonu/>
6. Обзор и анализ развития ветроэнергетики России в региональной энергосистеме (на материалах Ростовской области) [Электронный ресурс] URL: <https://eee-region.ru/article/7106/>
7. Ветрогенераторы Ростовской области [Электронный ресурс] URL: https://pikabu.ru/story/vetrogeneratoryi_rostovskoy_oblasti_7882868
8. Архив погоды в Платове (аэропорт), METAR [Электронный ресурс] URL: [https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Платове_\(аэропорт\),_METAR](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Платове_(аэропорт),_METAR)
9. Архив погоды в Ростове-на-Дону [Электронный ресурс] URL: https://world-weather.ru/archive/russia/rostov_na_donu/
10. Ростовская область. Природа [Электронный ресурс] URL: <https://bigenc.ru/c/rostovskaia-oblast-priroda-746e24>
11. Федеральное государственное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» Физическая география (учебник) Ростов-на-Дону, К.Ш. Казеев, В.И. Стрелкова, 2008г

12. ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОМПОНЕНТОВ. Учебное пособие, И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин, 2013г. с5
13. Зверев, А.С. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 71с.
14. Хргиан, А.Х. Л.: Гидрометеиздат, 1961.
15. Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ, Центр экологической политики России. Российская инженерная академия, ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА. ВЫМЫСЛЫ И ФАКТЫ ОТВЕТЫ НА 100 ВОПРОСОВ, П.П. Безруких, П.П. Безруких 2011г [Электронный ресурс] URL: http://sustainabledevelopment.ru/upload/File/Books_2011/Veter_2011.pdf