

**КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**С.Н. Тупикин, Н.С. Орлова**

**ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
РЕСУРСЫ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Калининград  
1998**

КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

С.Н. Тупикин, Н.С. Орлова

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Учебное пособие

Калининград  
1998

Тупикин С.Н., Орлова Н.С. Ветроэнергетические ресурсы Калининградской области: Учебное пособие / Калинингр. ун-т. - Калининград, 1998. - 52 с.  
ISBN 5-88874-101-9.

Рассматриваются общие методические подходы к изучению проблем ветроэнергетики, представляется конкретная, обоснованная оценка ветроэнергетического потенциала Калининградской области. Освещаются все основные показатели специализированных климатических характеристик, представляющих ветроэнергетический потенциал области, и соответствующих современному научному подходу к изучению проблем.

Учебное пособие может быть использовано при подготовке студентов к деятельности в области ветроэнергетики.

*Рецензент* - В.Н. Яковлев, ведущий сотрудник лаборатории промышленной океанографии АтлантНИРО, д-р геогр. наук, профессор.

Станислав Николаевич Тупикин,  
Надежда Станиславовна Орлова

## **ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КАЛИНИГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Учебное пособие

Лицензия № 020345 от 14.01.1997 г.

Редактор Н.Н. Мартынюк.

Подписано в печать 04.06.1998 г. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага для множительных аппаратов. Ризограф. Усл. печ. л. 3,3.

Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 150 экз. Заказ 120.

Калининградский государственный университет,  
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
<b>1. Ветер как источник энергии</b>	
1.1. Подходы к изучению ветроэнергетики .....	5
1.2. Особенности ветрового режима региона .....	7
1.3. Определение специализированных климатических характеристик ветра для целей ветроэнергетики .....	10
<b>2. Оценка ветроэнергоресурсов региона</b>	
2.1. Потенциальные ветроресурсы .....	14
2.2. Территориальная дифференциация .....	17
2.3. Рекомендации по размещению и выбору оптимальных местоположений ВЭУ и ВЭС .....	21
Заключение .....	24
Библиографический список .....	26
Приложение 1. Повторяемость различных скоростей ветра в Калининградской области по сезонам, % .....	28
Приложение 2. Диаграмма распределения повторяемости ветров скоростью 0,1 м/с по сезонам .....	33
Приложение 3. Розы ветров на станциях опорной сети Калининградской области по сезонам .....	38
Приложение 4. Карты потенциальных ветроэнергоресурсов для уровней 10 и 50 м по сезонам .....	43

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость поиска альтернативных источников энергии обусловлена исчерпаемостью топливных полезных ископаемых и антиэкологическим характером их использования, ограниченностью гидроресурсов и угрозой затопления территории, отсутствием достаточных гарантий полной безопасности атомных электростанций. Вопросы экологии относятся к глобальным проблемам человечества, но в каждом отдельно взятом регионе они имеют свои аспекты. Решение наиболее важных экологических проблем Калининградской области заключается в предотвращении загрязнения окружающей среды традиционными энергетическими объектами, такими как Калининградская ТЭЦ-1, Светловская ГРЭС-2, Гурьевская ТЭЦ, за счет использования “экологически чистой” энергии, т.е. нетрадиционных возобновляемых источников энергии, под которыми здесь понимаются прежде всего ветроэнергетические.

Дефицит электроэнергии в Калининградской области, невозможность собственными силами обеспечить себя электроэнергией, удовлетворить нужды всех местных потребителей создают условия надвигающегося энергетического кризиса. Преодолеть его поможет использование новых источников энергии, в том числе ветровых.

Ветроэнергетические станции (ВЭС) - экологически чистые и безопасные источники энергии. Они не производят тепловых и токсичных выбросов в атмосферу, для их работы не нужны водохранилища и пруды-охладители, земляные и бетонные работы сводятся к минимуму, что обеспечивает максимальное сохранение ландшафта. Ввиду полной автоматизации работы станции не требуется создания развитой инфраструктуры. ВЭС в сочетании с тепловыми аккумуляторами способны принципиально иначе решить проблемы отопления, чем это делается в настоящее время с помощью ТЭЦ и котельных. При использовании теплоаккумулирующих ВЭС можно организовать воздушное отопление. Использование ветровой энергии в сочетании с энергией солнца (ветрогелиоэнергетические установки) способно обеспечить бесперебойную подачу энергии потребителю. Энергоотдача ВЭС начинается с вводом первой ветроэнергетической установки (ВЭУ), т.е. в первые же месяцы после начала строительства.

Кроме того, выявлено, что ВЭУ играют роль своеобразной защиты, препятствующей ветровой эрозии почвы. Это особенно актуально для побережья Калининградской области, где под угрозой разрушения находятся уникальные памятники природы.

В данном пособии представлены основные этапы изучения ветроэнергетических ресурсов Калининградской области. Рассмотрена методика расчета потенциальных и технических ветроэнергоресурсов, выбора ме-

стоположений и типа ВЭУ, приемлемая для Калининградской области с учетом особенностей ветрового режима региона, его орографических условий, экологических проблем и энергетических потребностей.

## **1. ВЕТЕР КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

### **1.1. Подходы к изучению вопросов ветроэнергетики**

Многоплановость исследования, которое оказывается на стыке трех наук, предопределило необходимость объединения трех направлений: в сфере климатологии и метеорологии - в процессе изучения комплексных показателей ветрового режима; в сфере ветроэнергетики - при исследовании изученности ветроэнергетических ресурсов региона и расчете ветронасыщенных зон области, потенциальной и утилизируемой энергии непосредственно для Калининградского региона; в сфере экологии - при анализе экологического потенциала использования ВЭУ.

Первоначально (в начале 20-х годов) исследования ветроэнергоресурсов проводились для отдельных районов нашей страны. Так, в работах Н.Н. Оранского [25] изучалась территория тогдашнего западного Туркестана; Н.В. Симонова [30] - региона, охватывающего Казахстан, Урал и юго-восток ЕТС; Р.Р. Циммермана - Узбекистана; Н.В. Красовского - Крымского полуострова [24]. В более поздний период Н.В.Симоновым были рассмотрены закономерности ветрового режима по всей территории бывшего Союза [29, 30]. Для этой цели были обобщены данные по средним годовым скоростям ветра для разных частей территории страны за период наблюдений с 1891 по 1909 г.; рассматривались для ограниченного числа станций повторяемости скоростей ветра по градациям, а также связь повторяемости отдельных градаций со средней скоростью ветра. Кроме того, анализировалась “устойчивость” средней скорости ветра во времени и, в частности, годовой ход. Впервые были выделены на карте области со скоростью ветра свыше 5 м/с, охватывающие побережье Ледовитого океана и Черноморское побережье Украины.

Исследования Н.В. Красовского позволили сформулировать принципы выбора мест для ВЭУ с учетом условий местоположения [24]. Также рассмотрены вопросы теории изменения скорости ветра с высотой. Сформулированы четыре основных положения, которыми следует руководствоваться при выборе мест для ВЭУ. Так, было предложено в условиях равнинной местности располагать установки на тех участках, что расположены выше общего уровня, прежде всего на “возвышенностях с правильными склонами”. Указывалось, что наличие расчлененного рельефа перед глав-

ным повышением местности приводит к уменьшению вертикальных градиентов скорости ветра, что должно учитываться при размещении ВЭУ как негативный фактор. В работе приведены составленные Н.В. Красовским карты среднемесячных и среднегодовых скоростей ветра, анализ которых позволил сделать вывод о предпочтительности использования для размещения ВЭУ побережий Ледовитого, Тихого океанов, озера Байкал, Черного и Каспийского морей [24].

В работе Г.А. Гриневича [21] разработан более глубокий подход к использованию энергии ветра. В ней отмечено, что одних лишь данных по общим климатическим характеристикам недостаточно для удовлетворения запросов ветроэнергетики и поэтому необходимо выявлять и учитывать так называемые специализированные параметры режима ветра, отражающие его микро- и макроструктуру.

Летом 1989 г. Госкомитет СССР по науке и технике провел Всесоюзный конкурс проектов ВЭУ, на котором удалось определить наиболее перспективные конструкции. В том же году институт “Гидропроект” разработал “Схему использования ветроэнергетики на период до 2010 г.”. В этой работе был оценен ветроэнергетический потенциал страны, выделены наиболее перспективные в этом отношении зоны, эффективные расчетные скорости ветра, проведены необходимые экономические расчеты.

Так, анализ данных наблюдений более чем 450 метеостанций позволил рассматривать для предпочтительного освоения несколько зон повышенного потенциала. В качестве энергетических ветров были приняты ветры со скоростью от 5 до 24 м/с. При этом критерием благоприятного использования ветропотенциала была принята повторяемость ветров в рабочем диапазоне скоростей выше 50 % календарного времени. Расчеты показали, что конкурентная выработка электроэнергии на сооруженных ВЭС в целом по стране может составить около 100 млрд. кВт·ч при установленной мощности ВЭУ 50 млн. кВт и работе 2000 ч в год. Ввод этой мощности эквивалентен экономии свыше 30 млн.т условного топлива в год [28].

Позднее Минэнерго приняло решение о прекращении финансирования большинства предприятий и организаций, ведущих эти работы. Определенный оптимизм вселяют планы развития электроэнергетики Российской Федерации, где значительное место отведено ветроэнергетике и использованию других нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Основная методическая информация по оценке ветроэнергетического потенциала разработана и изложена в трудах ГГО. Здесь же были выполнены работы по оценке ветроэнергоресурсов и ветропотенциала некоторых регионов России, среди которых нет Калининградской области.

## **1.2. Особенности ветрового режима региона**

Калининградская область - самая западная область России, климатический режим ее обуславливается географическим положением и влиянием Балтийского моря. Расположенная в умеренных широтах Калининградская область испытывает на себе влияние огромного Европейско-Азиатского материка и Атлантического океана. Причем на климате области влияние океана (с его мощным, “обогревающим” весь Европейский континент Северо-Атлантическим течением) отражается в большей степени. Более низкое широтное положение области по сравнению с Прибалтийскими государствами, обуславливает и более высокий годовой приход суммарной солнечной радиации, что в некоторой степени смягчает климат области.

Как и другие части радиационного баланса, суммарная радиация подвержена значительным колебаниям. Так, в июне она в 15 раз больше, чем в декабре. В июне Калининградская область получает почти половину, а в декабре лишь четвертую часть радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы.

Климат Калининградской области характеризуется как переходный от морского к континентальному. Граница между зонами с преимущественно морским и преимущественно континентальным климатом в течение года перемещается [26].

Здесь в процессе климатообразования участвуют *две категории факторов*:

- факторы, связанные с общими географическими особенностями Земли;
- факторы, связанные со специфическими особенностями района.

Основные черты климата формируются под влиянием общего переноса воздушных масс с океана на материк. Пути мощных циклонов, переносящих влажный морской воздух на континент, проходят в основном через Балтийское море: или над Датским проливом, или над южной частью Скандинавии, потом над Балтийским морем и Финским заливом и уходят дальше на восток. Циклоны сопровождаются западными и юго-западными ветрами, пасмурной погодой и частым выпадением осадков.

Кроме циклонов, иногда наблюдаются вторжения холодных масс арктического воздуха из районов Гренландии, Баренцева, реже Карского морей, сопровождающиеся понижением температуры воздуха и уменьшением облачности. Воздушные массы, формирующиеся над Европейской частью бывшего СССР и над Сибирью, тоже оказывают влияние на климат области, обуславливая зимой резкое понижение температуры и безоблачное небо, а летом теплую и сухую погоду [31].

Влияние теплого течения сказывается на физических свойствах воздушных масс: сформировавшись в районе этого течения, как правило, на-

сыщенные влагой, они при перемещении с запада на восток не успевают полностью израсходовать запас тепла и влаги и переносят их в район Южной Балтики и Калининградской области.

Ветровой режим также обусловлен особенностями географического положения региона. Направление преобладающих ветров находится в тесной зависимости от сезонной динамики барических центров Евразии и Северной Атлантики.

В холодное время года над центральной частью Евразии формируется устойчивый и хорошо развитый антициклон - Азиатский максимум. В Северной Атлантике в районе Исландии стационарирует глубокий циклон - Исландский минимум. Граница полярного фронта также смещается к югу, и миграция в основном проходит в районе 54-56° с.ш.

Азорский антициклон несколько ослабевает и смещается к экватору, где его гребень преимущественно оказывает влияние на северную Африку.

Усиление Исландского минимума, смещение полярного фронта и ослабление влияния Азорского антициклона обуславливают резкую активизацию западного переноса теплых и насыщенных влагой морских воздушных масс на Европу, с большим количеством циклонов, сильными ветрами и осадками.

Летом граница полярного фронта смещается к северу, примерно к 74-76° с.ш. Исландский минимум заполняется, тогда как заметно усиливается Азорский антициклон. И этот и другой несколько смещаются к северу. В результате Исландский минимум оказывает меньше влияния на Европу, сокращается и количество приходящих сюда циклонов, а гребень Азорского максимума распространяет морской тропический воздух на Центральную Европу, иногда достигая восточного побережья Южной Балтики. Западный перенос ослабевает, но по-прежнему остается значительным. Преобладание западных ветров значительно сглаживает бризовый эффект на побережье. Бризы в чистом виде чрезвычайно редки и проявляются слабо [31].

Наиболее наглядным при характеристике ветрового режима исследуемого региона представляется сравнение его с ветровым режимом других районов побережья Балтики. Для такого сравнительного анализа целесообразно использовать данные 12 метеорологических станций побережья Балтики за период 1969-1990 гг. (рис. 1.) Сравнение проводилось по показателям многолетней среднегодовой и среднесезонной скорости ветра, которые являются исходными при оценке общего ветроэнергopotенциала исследуемой территории.

Рис. 1 (1 стр.)



Самую высокую среднегодовую скорость ветра - 5,7 м/с - имеют станции Лиепая (Латвия) и Нида (Литва), а наиболее низкие ее значения отмечаются на станциях Грейфсвальд (Германия) - 2,1 м/с, Турку (Финляндия) - 3,1 м/с, Устка (Польша) - 1,9 м/с. В Калининградской области на станции Балтийск среднегодовая скорость ветра довольно высокая - 5,4 м/с; такая же среднегодовая скорость ветра на островной станции Висбю (Швеция). Этот же показатель в Стокгольме (Швеция) гораздо ниже - всего 3,3 м/с. На метеорологических станциях Ристна (Эстония) и Павилоста (Латвия) значения среднегодовой скорости ветра также составляют 5,0 и 4,7 м/с соответственно.

Здесь прослеживается определенная зависимость северной части моря от вторжения циклонов с запада и северо-запада. Их число почти в 2,5 раза меньше, чем в южной части моря. Кроме того, все ветры со скоростью 25 м/с и более отмечаются только на южном побережье и имеют западное направление.

Своеобразная долина в рельефе Западной Европы, обуславливающая беспрепятственное проникновение воздушных масс к южному побережью Балтики и в Калининградскую область, а также расположение здесь же полярного фронта в холодный период года дают возможность выделить специфический “*Балтийский ветровой коридор*”, куда относится и Калининградская область. Для него характерна повышенная ветровая активность по сравнению с другими районами побережья Балтийского моря, что и объясняет высокий уровень ветроэнергopotенциала в области, особенно на его побережье [31].

### **1.3. Определение специализированных климатических характеристик ветра для целей ветроэнергетики**

*Специализированными* называются климатические характеристики, ориентированные на решение конкретных задач в той или иной области экономики. В данном случае оцениваются возможности включения в общий энергетический баланс Калининградской области ветроэнергетических ресурсов. Эта проблема подразделяется на ряд таких прикладных задач, как расчет потенциальных, технических (утилизируемых) ветроэнергетических ресурсов, районирование территории по величине ветроэнергетических ресурсов, размещение ветродвигателей на рассматриваемой территории и выбор наиболее подходящих для установки в Калининградской области систем ветродвигателей.

*Ветровые параметры, используемые для ветроэнергетики, подразделяются на три основные группы:*

- *первая* включает в себя основные статистические распределения, которые позволяют выявить особенности ветрового режима исследуемого региона и дать предварительную оценку его энергетических ресурсов;

- *вторая группа* характеристик предназначена для установления оптимального соотношения между мощностью ветрового потока и мощностью ВЭУ. С их помощью более точно можно прогнозировать реально возможный уровень утилизации ресурсов;

- *третья группа* предназначена для характеристики ветра в то время, когда его режим неблагоприятен для использования энергетических ресурсов. Этот режим формируется при затишьях и слабых ветрах, которые в ветроэнергетике называются энергетическими штилями, а также при сильных и очень сильных ветрах.

Для решения поставленных задач следует выбрать соответствующие им климатические показатели ветра. Ветер - векторная величина. В полярных координатах вектор ветра имеет две составляющих: модуль вектора, или скорость ветра, выраженную в м/с, и его направление по 8 или 16 румбам.

*Скорость ветра* является важнейшей составляющей, оценка которой необходима для расчета потенциальных ветроэнергоресурсов исследуемой территории.

Для получения устойчивых значений средней скорости в соответствии с рекомендациями ГГО им. А.И.Воейкова достаточен 10-летний ряд наблюдений. Чтобы получить надежные характеристики повторяемости различных скоростей ветра, необходимы более длинные ряды наблюдений. Для Калининградской области длина исследуемого ряда составляет 25 лет: с 1964 по 1989 г., что климатически обосновано и достаточно для получения средних многолетних значений повторяемости ветров.

Использовались данные наблюдений 10 метеорологических станций, 8 из которых находятся на территории Калининградской области (Балтийск, Пионерск, Калининград, Мамоново, Железнодорожный, Черняховск, Гвардейск, Советск) и 2 метеорологические станции - на территории Литвы (Шилуте, Кибартай). Метеорологические станции достаточно равномерно распределены по территории исследуемого региона, и расстояние между ними не превышает 50 - 100 километров (рис. 1). Наиболее наглядно это представлено на графиках повторяемости ветра различных скоростей (см. приложение 1, рис. 1-4). Для построения графиков были рассчитаны 240 исходных таблиц для всего временного периода и скомпонованы в сводные таблицы скоростей ветра.

Более полной климатической характеристикой режима скорости ветра является *распределение повторяемости ветра по градациям скоростей*. Следует отметить, что устойчивость характеристик повторяемости зависит не только от длины ряда, но и от числа градаций скорости ветра. Обычно

используют 6 градаций: 0-1, 2-5, 6-11, 12-15, 16-20 и >21 м/с. Указанные градации выбраны с учетом точности наблюдений, обеспечиваемой флюгером. Повторяемость ветров выражается числом случаев и в процентах, рассматривается по градациям их скорости и отдельно по каждому сезону.

Распределения скорости ветра являются резко асимметричными, поэтому для их характеристики используются такие основные статистические параметры, как среднее, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии.

Дополнительно к перечисленным стандартным показателям следует вычислять максимальную скорость ветра и такую специализированную характеристику, как *средний куб скорости ветра*, которая входит в формулы расчета ветроэнергоресурсов. Эта характеристика может вычисляться как по исходному хронологическому ряду по формуле:

$$\bar{X}^3 = \frac{\sum_{i=1}^k X_i^3}{n}, \quad (1)$$

где  $X_i$  - член ряда, так и по распределению повторяемости скоростей ветра:

$$\bar{X}^3 = \frac{\sum_{i=1}^k X_i^3 \cdot m_i}{n}, \quad (2)$$

где  $k$  - число градаций;

$m_i$  - повторяемость  $i$ -ой градации;

$X_i$  - середина  $i$ -ой градации.

В международной климатической практике эту характеристику чаще всего определяют косвенным способом, используя закон Максвелла или, реже, закон Вейбулла.

Для того, чтобы воспользоваться указанными законами средний куб скорости ветра выражают через коэффициент асимметрии и дисперсию - среднее квадратическое отклонение в квадрате

$$\bar{X}^3 = A + 3\sigma^2 - X^3. \quad (3)$$

Для закона Максвелла существует однозначная связь между  $\bar{X}$ , и  $A$  и поэтому зная  $\bar{X}$ , можно по формуле (3) легко определить куб скорости ветра.

Среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации как относительные показатели удобны в тех случаях, когда сравниваются изменчивость распределений, имеющих сильно различающиеся средние значения.

Важным показателем режима ветра является *максимальная скорость*. Эта характеристика позволяет оценить степень опасности поломки ветроэнергетической установки с учетом ее прочности. По ряду причин, главной из которых являются конструктивные особенности флюгера, получение надежных данных о максимальной скорости ветра весьма затруднительно. Поэтому в последнее время предпочитают получать эту характеристику расчетным путем. Сущность метода состоит в том, что полученное по материалам наблюдений эмпирическое распределение аппроксимируется некоторой функцией распределения, которая используется для расчета искомых климатических показателей. В данном случае допускается, что скорость ветра подчиняется распределению Максвелла, которое принято в международной практике, что отмечается в технической записке ВМО по ветроэнергетике. Для целей ветроэнергетики его используют значительно чаще, чем распределение Вейбулла, так как при расчетах ветроэнергоресурсов оно дает более точный результат. Поэтому в дальнейшем будем использовать уравнение Максвелла. Следовательно, максимальная скорость ветра может рассчитываться по формуле:

$$U = 1,7 PUs \sqrt{-\lg(1 - P)}, \quad (4)$$

где  $U$  - максимальная скорость ветра при заданном уровне обеспеченности  $P$ . Если  $P$ , выраженное в долях единицы, равно 0,99, то из формулы (4) следует, что  $U = 2,4 Us$ .

*Направление ветра*, его повторяемость и распределение рассчитывается для тех же станций опорной сети изучаемой территории. Исходным материалом для вычисления климатических характеристик направления ветра служат выписки из месячных метеорологических таблиц ТМ-1, в частности, сведения о числе случаев ветров различных направлений по 16 румбам и числе штилей.

При пересчете направлений ветров от 16 румбов к 8 возникает необходимость их объединения. Пересчет выполняется по методу ГГО с передвижением по правому кругу:

$$\begin{aligned} C + ССВ &= C; \\ СВ + ВСВ &= СВ; \\ В + ВЮВ &= В \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

Для получения данных повторяемости направлений ветров по сезонам за исследуемый период составляется сводная таблица повторяемости направлений ветров отдельно по сезонам и по каждому румбу, а для более наглядного изображения и для удобства анализа исходного материала строят розы ветров отдельно для каждой станции опорной сети Калинин-

градской области и для каждого сезона с указанием числа штилей (см. приложение 2, рис. 1-4). Кроме того, для сравнения среднемесячной, сезонной и годовой изменчивости сильных ветров непосредственно в прибрежной зоне целесообразно построить месячные, сезонные и годовую розы ветров.

При оценке скорости и направления ветра используется также размах ( $R$ ) - статистический показатель, который характеризует степень устойчивости процессов. При этом если:

$R \Rightarrow 0$  - устойчивое состояние;

$R \Rightarrow \max$  - неустойчивое состояние.

Таким образом, основными климатическими показателями, ориентированными на решение проблем ветроэнергетики, являются:

- параметры распределения скоростей ветра ( $\bar{X}$ ,  $C_v$ ,  $A$ ), максимальная скорость ветра, средний куб скорости ветра. Рассматривая распределение скоростей ветра, целесообразно специально остановиться на повторяемости и максимальном числе штилей и слабых ветров, а также особо опасных скоростей ( $>25$ ,  $>30$  м/с). Первые позволяют сделать прикидку времени простаивания всех ветроэнергетических установок, а вторые - возможности их серьезных поломок;

- направление ветра по 16 (или по 8) румбам, его повторяемость, распределение по исследуемой территории и годовой ход.

Учет этих показателей требуется для оценки ожидаемого режима работы ветродвигателя.

## 2. ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГОРЕСУРСОВ РЕГИОНА

### 2.1. Потенциальные ветроресурсы

Энергетические ресурсы на практике и в теории подразделяются на два вида: *потенциальные и технические*.

*Потенциальные ветроэнергоресурсы* - это суммарная энергия движения воздушных масс, перемещающихся над рассматриваемой территорией. В природе эти ресурсы необычайно велики. Однако на практике используется лишь некоторая часть потенциальных энергоресурсов. Эта энергоактивная (утилизируемая) часть в распределении скорости ветра называется техническими ветроэнергоресурсами [22].

С другой стороны, *технические ветроэнергоресурсы* - это та часть потенциальных ветроресурсов, которая может быть использована с помощью

имеющихся в настоящее время технических средств для целей получения ветровой электроэнергии.

В соответствии с современными требованиями для оценки ветроэнергетики конкретного региона используется специализированная климатическая информация. Основными из них являются климатические характеристики, применяемые при оценке ветроэнергетического потенциала. Сюда входят средние многолетние скорости ветра в целом за год и по месяцам; данные об изменениях скорости ветра в различные сезоны, распределения повторяемостей скорости ветра по градациям в разные сезоны; направления ветров различных скоростей; поправочные коэффициенты, учитывающие изменения скорости ветра в пространстве под влиянием мезонеоднородностей подстилающей поверхности.

На основе характеристики базовой климатической информации непосредственная характеристика потенциальных ветроэнергоресурсов представлена как показатель плотности мощности ветра, измеряемый в Вт/м.

Если принять во внимание, что ветровой двигатель полностью использует энергию ветра, то сила давления ветра на лопасти ветродвигателя -  $F$  - пропорциональна ветровому напору:

$$F = 1/2 \rho v^2, \quad (5)$$

где  $v$  - скорость ветра;  $\rho$  - плотность воздуха [23].

Мощность ветродвигателя при данном условии  $P$ , или работа, совершаемая в единицу времени, равна произведению ветрового напора ветра (силы) на скорость ветра, т.е.  $P = Fv$ . Так как  $F = 1/2 \rho v^2$ ,  $P$  определяется по формуле:

$$P = 1/2 \rho v^3. \quad (6)$$

Однако не вся мощность ветра может быть использована ветродвигателем, поскольку при малых скоростях ветра двигатель не работает, а при слишком больших двигатель выводят из-под ветра во избежание аварии. Поэтому утилизируемая ветродвигателем мощность в данный момент времени  $P_y$  рассчитывается по формуле:

$$P_y = A'k(v)P_e, \quad (7)$$

где  $A'$  - поперечное сечение ветрового потока, перпендикулярного к лопасти турбины и воспринимаемого ротором турбины;  $k(v)$  - коэффициент, зависящий от скорости ветра;  $P_e$  - потенциальная мощность ветрового потока  $P$  на единицу поперечного сечения.

Умножая мощность на время работы двигателя, получим количество энергии ветра. Среднее значение потенциальных ветроэнергоресурсов за некоторый период, например за месяц, может быть определено как:

$$P = 1/2 \rho \bar{v}^3. \quad (8)$$

При наличии необходимых исходных данных формула (8) оказывается легко доступной в оперативной практике для расчета потенциальных ветроэнергоресурсов какого-либо региона. При этом расчет  $\bar{v}^3$  является трудоемкой операцией, так как каждое значение ряда следует возвести в третью степень и затем осреднить кубы скоростей ветра. Поэтому для повышения оперативности расчетов целесообразно иметь готовую таблицу осредненных кубов различных скоростей ветра для данного региона.

Подставив значения  $C_v$  и  $A$ , соответственно равные для закона Максвелла 0,52 и 0,63, получим, что

$$v^3 = 1,9 (\bar{v})^3. \quad (9)$$

Полагая, что плотность воздуха  $\rho$ , при нормальных условиях равная  $1,3 \times 10$  г/см, или 1,276 кг/м, принимая во внимание (8), можно рассчитать плотность мощности ветра за год или месяц. Так были рассчитаны таблицы скоростей ветра, соответствующие определенным целым значениям плотности энергии для двух уровней - 10 и 50 м, где 10 м - высота флюгера, а 50 м - высота ветроэнергетических установок. При этом скорости ветра и соответствующие им плотности энергии на уровне 50 м определялись соотношением:

$$\frac{U_{10}}{U_{50}} = \left( \frac{10}{50} \right)^\alpha, \quad (10)$$

где для открытой местности и небольшой шероховатости подстилающей поверхности принято значение  $\alpha$ , равное 1/7 [8].

Ветроэнергетический потенциал исследуемого региона оценивается путем построения и анализа фоновых карт потенциальных ветроэнергоресурсов Калининградской области для каждого месяца и сезона года отдельно (см. приложение 4, рис. 1-4). При построении карт используются данные средней многолетней скорости ветра и соответствующей ей плотности мощности ветра для различных сезонов года на станциях опорной сети Калининградской области.

В дополнение к подобным картам при проектировании и размещении ветродвигателей целесообразно строить топографические карты, которые позволяют внутри выбранных ветровых районов наметить конкретные точки установки ветродвигателей с учетом мезо- и микроклиматических особенностей местности [10].

В настоящее время имеется методика учета изменения ветровых характеристик в условиях пересеченного рельефа. В качестве количественного показателя изменения скорости воздушного потока используется коэффициент  $K$ , который представляет собой отношение скорости ветра в данном местоположении к скорости на открытом ровном месте. Анализ материалов наблюдений показал, что при небольших скоростях ветра (3-5 м/с) влияние препятствий на воздушный поток сильнее, чем при больших.

Особое внимание уделяется изменению скорости ветра в условиях городской застройки, которая в значительной степени аналогична пересеченной местности. Обобщающих данных о влиянии различных типов застройки на ветер, основанных на проведении натуральных наблюдений, немного, причем нередко при этих наблюдениях допускаются методические неточности, которые препятствуют обобщению выполненных трудоемких работ.

Ветровому потоку свойственна микроклиматическая изменчивость, вызванная различием форм рельефа, близостью водоемов и другими причинами, поэтому, располагая детальной характеристикой рельефа исследуемого района, можно учесть при расчетах его микроклиматические особенности. Рельеф исследуемой территории является достаточно ровным, т.е. орографические препятствия незначительные (крутизна склонов не более  $1^\circ$ ), поэтому метод использования микроклиматических карт, основанный на оценке ориентации и крутизны склонов, для территории Калининградской области нецелесообразен.

Полные подсчеты технических ветроэнергетических ресурсов могут базироваться лишь на конкретных технических решениях, так как при подсчетах должна учитываться толщина и высота слоя над поверхностью земли, который будет использоваться ветродвигателями и диапазон утилизируемых скоростей. Но и выбор конкретных конструкций ветродвигателей должен основываться на предварительной оценке средних потенциальных ветроэнергоресурсов.

## 2.2. Территориальная дифференциация

Для оценки ветроэнергоресурсов региона проведем зонирование территории, которое является не только удобным, но и служит основой для разработки проекта размещения и развития ветроэнергетики в области. Выделенные зоны называются *ветронасыщенными*. Их всего три - *малой, средней и активной ветровой деятельности* (рис. 2). Определяющими факторами при зонировании являются показатели повторяемости ветров различных скоростей и уровень потенциальных ветроэнергоресурсов, выраженный в Вт/м.

Рис. 2. 1 стр.

При наложении графиков скоростей и роз ветров на карту ветронасыщенных зон можно получить основные показатели по преобладающим направлениям и скоростям ветров для любой станции и любой зоны на территории области в любой сезон года.

*Первая - активная ветронасыщенная зона* - занимает наименьшую территорию и проходит вдоль всего побережья Балтийского моря. Сюда относятся станции Балтийск и Пионерск и прилегающие к ним территории, где наблюдается наибольшая повторяемость ветров различных скоростей: Балтийск - 2511 ч. сл. в год, и Пионерск - 2363 ч.сл. в год. Эти станции расположены на пути беспрепятственного проникновения ветра, усиленного влиянием полярного фронта (в холодный период года), выделенного нами как Балтийский коридор.

Первая ветронасыщенная зона обладает наивысшим ветроэнергопотенциалом, так как имеет самые высокие значения повторяемости ветров. Характерным является и то, что на обеих станциях данной ветронасыщенной зоны преобладает ветер западной половины горизонта. Осенью, в период наиболее сильных и стабильных ветров, выделяются главным образом западные ветры, из-за чего продуваемость территории происходит с запада на восток.

Повторяемость штилей самая низкая в году по сравнению с остальной территорией области - 17%. Эта зона является зоной повышенной циклонической деятельности, т.е. высока вероятность штормов и ураганов (0,2%), а это нерабочее время для ветроустановок.

Уровень потенциальных ветроэнергоресурсов составляет здесь от 400 до 700 Вт/м на высотах 10 и 50 м. Эти показатели являются самыми высокими в области.

*Вторая ветронасыщенная зона* Калининградской области - зона *средней ветровой деятельности* - включает в себя территории, прилегающие к станциям Калининград, Мамоново, Советск. Несмотря на то, что сюда входят всего три станции опорной сети, зона занимает довольно обширную площадь - всю центральную часть области, которая представляет собой равнинную территорию, имеющую незначительные орографические особенности, впрочем, как и вся территория Калининградской области. Повторяемость ветров различных скоростей на территории данной ветронасыщенной зоны распределяется достаточно равномерно.

Анализируя розы ветров для станций этой ветронасыщенной зоны, следует отметить, что в теплый период года здесь преобладают северные и северо-западные ветры, а в холодный период года - южные, юго-западные и западные ветры. Наибольшее внимание приходится уделять именно западным, юго-западным и южным ветрам, так как наивысшая повторяемость ветров различных скоростей приходится как раз на холодный период года, когда и господствуют ветры вышеназванных румбов. Эти ветры яв-

ляются господствующими не только по направлению, но и по силе и продолжительности. Именно на ветры холодного периода приходится наивысшие градации скоростей: от 5 м/с и выше.

Для холодного периода характерна также наименьшая повторяемость штилей, которая заметно увеличивается в теплый период года.

Во второй ветронасыщенной зоне наблюдается увеличение числа штилей и уменьшений штормов и ураганов. Уровень потенциальных ветроэнергоресурсов равен 300 Вт/м, что гораздо меньше, чем в первой ветронасыщенной зоне.

*Третья ветронасыщенная зона Калининградской области - зона малой ветровой деятельности.* Сюда входят территории, прилегающие к станциям Черняховск, Железнодорожный, Гвардейск, Кибартай и Шилуте. Эта зона занимает самую обширную территорию - всю восточную часть области. Повторяемость ветра является достаточно высокой, а направление - изменчивое. Потенциальные ветроэнергоресурсы равны 200 Вт/м.

Во время самого активного ветрового сезона года - осени - на станциях зоны малой ветровой деятельности также преобладают ветры западного, юго-западного и южного направлений. Правда, на станции Кибартай резко увеличивается повторяемость юго-западных ветров, которые являются преобладающими для этой станции практически во все сезоны. Это говорит о том, что по мере продвижения на восток ветры западной четверти горизонта заметно теряют свою силу в связи с возрастанием шероховатости подстилающей поверхности.

Для всей территории области характерна тенденция уменьшения ветровой активности при продвижении с запада на восток, которое не является резким, но отличается последовательностью. По мере продвижения на восток ветры теряют свою силу в связи с возрастанием шероховатости подстилающей поверхности.

Практически вся территория области, т.е. три ветронасыщенные зоны, обладают значительным ветроэнергопотенциалом (т.е. имеют удельную мощность более 100 Вт/м), что по мировым стандартам характеризует территорию как перспективную для развития ветроэнергетики.

Приведенный анализ ветрового режима в целом и для каждой из ветронасыщенных зон в отдельности позволяет сделать предварительные расчеты времени простаивания ветроэнергетических установок, а также предупредить их возможные поломки. Учет этих показателей требуется для оценки ожидаемого режима работы ветродвигателя, а анализ режима ветра в Калининградской области дает возможность получить качественный и количественный критерий рабочих скоростей ветра для ВЭУ любого типа в диапазоне от 3 до 21 м/с.

### **2.3. Рекомендации по размещению и выбору оптимальных местоположений ВЭУ и ВЭС**

Ветровой режим в пересеченной местности, где обычно устанавливают ветроагрегаты, отличается существенной горизонтальной и вертикальной неоднородностью. Наиболее благоприятными местами для ВЭУ являются открытые вершины возвышенностей, узкие “ветропроводящие коридоры”, надводные и прибрежные районы и другие условия местоположения, формирующие повышенные скорости, устойчивые во времени.

Обобщение многочисленных измерений ветровых параметров в различных орографических условиях на территории Калининградской области дало возможность сформулировать основные предложения и рекомендации по размещению и выбору оптимальных местоположений ВЭУ и ВЭС.

В последние годы особое внимание уделялось климатологическому обоснованию мощных ВЭС, которые могли бы быть подключены к работе крупных энергетических систем. Такие работы активно ведутся в ряде зарубежных стран (США, Дания, Великобритания, ФРГ, Швеция и др.). В последнее время получены определенные результаты и у нас в стране. При этом первоочередное внимание уделяется характерному для всех ВЭУ экологическому фактору [23]. Вопрос размещения ВЭС, подключенных к энергосистемам, должен в первую очередь рассматриваться для регионов с развитой промышленностью и мощной научно-технической базой, а также для густонаселенных районов, имеющих санаторно-курортную базу, т.е. рекреационных районов. Именно для них является весьма важной проблема вытеснения части традиционных топливных источников, использование которых ухудшает и без того напряженную экологическую обстановку, возобновляемыми источниками, в первую очередь ветром.

Установлено, что ВЭС целесообразно размещать, во-первых, на прибрежных мелководных участках, акватории морей и крупных водохранилищ и, во-вторых, на пологих наветренных склонах невысоких возвышенностей. Реализация такого подхода позволит обеспечить съем энергии, необходимый для работы в энергосистеме при условии, что участок территории (акватории) занимает площадь несколько десятков километров.

К выбору мест для размещения ВЭУ, предназначенных для включения в общие энергосистемы, предъявляются следующие требования:

- наличие развитых энергетических сетей вблизи мест расположения ВЭС;

- достаточно большой ветроэнергопотенциал; он достигается при средней скорости ориентировочно 5-7 м/с на уровне оси ветроколеса (около 50 м), этим самым обеспечивается коэффициент использования установки около 40%;

- расположение ВЭС вблизи или непосредственно на акватории, что позволяет уменьшить относительную изменчивость скорости ветра во време-

ни (коэффициент вариации) в 1,5-2 раза по сравнению с прибрежными участками суши. Сам же ветроэнергopotенциал мелководных акваторий в 2-4 раза выше, чем ветроэнергopotенциал прилегающих к побережью участков суши;

- близость к потребителям энергии, наличие вблизи ВЭС развитой промышленности и научно-технических организаций, способных создать условия для надежного функционирования ВЭС [8].

Исходя из перечисленных условий, на территории Калининградской области из трех зон различной ветронасыщенности наиболее перспективной для развития (использования) крупной ветроэнергетики является зона активной ветровой деятельности, которая включает в себя всю территорию побережья Балтийского моря (от ст. Балтийск до ст. Пионерск). В холодный сезон года средняя скорость ветра около 6,5 м/с, а удельная мощность ветрового потока изменяется в пределах от 700 Вт/м на высоте 50 м до 400 Вт/м на уровне 10 м над поверхностью земли.

Значительный ветроэнергетический потенциал отмечается на всей территории области, но наиболее целесообразным видится использование ветроэнергетики в прибрежном районе и не только потому, что данный район обладает наиболее высоким ветроэнергетическим потенциалом, но и потому, что площадь прилегающих морских акваторий в перспективе также может быть использована в целях ветроэнергетики. Потенциальные ветроэнергоресурсы акваторий, как правило, значительно превосходят ветроэнергетические ресурсы побережий. Кроме того, для акваторий характерна низкая повторяемость “энергетических затиший” и их асинхронность.

Таким образом, зона побережья (зона активной ветровой деятельности) является как раз тем районом на территории Калининградской области, где возможно и экономически рентабельно создание ВЭС различной мощности, по крайней мере, на первом этапе освоения ветроэнергетики.

Следует заметить, что ветроэнергopotенциал всей территории Калининградской области (включая зоны средней и малой ветровой деятельности) является достаточно высоким. Поэтому нельзя сбрасывать со счетов использование для целей ветроэнергетики и остальную часть (континентальную) исследуемого региона. Кроме того, одним из основных направлений в климатологическом обеспечении энергетики в настоящее время являются разработки, направленные на достижение наибольшей оптимизации работ энергосистем, в частности, питающихся от ВЭУ, а также ВЭУ, работающих в автономном режиме.

Наиболее важными для практического использования будут результаты изучения особенностей вертикального (высотного) распределения повто-

ряемости “энергоактивного” диапазона скорости ветра в приземном слое атмосферы и тропосферы (аэрокосмические исследования) над перспективными в ветроэнергетическом отношении районами [22].

Освоение и использование ветра как ресурса на территории Калининградской области можно провести в несколько этапов.

На первом этапе - наиболее важно использование ветропотенциала побережья. Начинать надо со строительства небольших ВЭС, которые впоследствии объединились бы в парк ветроэнергетических станций. Такие парки могут занять практически всю территорию первой ветронасыщенной зоны, включая Куршскую косу, где ВЭУ способствовали бы сохранению береговой линии. Прервоочередность строительства ВЭС именно в этом районе определяется главным образом его наивысшим ветроэнергетическим потенциалом, а также развитием рекреационного комплекса на побережье, что значительно увеличит потребность в электроэнергии.

На втором этапе рационально распространить строительство ВЭУ и ВЭС на восточную часть области - в район второй и третьей ветронасыщенных зон, и сосредоточить их возле городских центров области, т.е. в непосредственной близости к потребителям.

Установку ВЭС на шельфе Калининградского побережья можно выделить как третий этап в использовании ветроэнергоресурсов, так как это достаточно новое и довольно перспективное направление в ветроэнергетике.

Нет необходимости выделять использование энергии ветра в совокупности с энергией солнца как отдельный ветрогелиоэнергетический этап, поскольку такое комбинирование зависит от конструкции установки. Введение ветрогелиоэнергетических установок возможно на любом этапе. Такой вариант также является экологически безопасным и попутно решает проблему простоя установки, так как активность ветра и солнца чередуются между собой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование ветроэнергетических ресурсов любого региона (в данном случае Калининградской области) целесообразно проводить в несколько этапов:

- подбор станций опорной сети;
- сбор и обработка данных специализированных климатических характеристик ветра;
- анализ и характеристика параметров ветра, отражающих специфику и механизм использования его для целей ветроэнергетики;
- расчет потенциальных и технических ветроэнергоресурсов;
- оценка и анализ результатов расчета, которые позволяют делать выводы или конкретные рекомендации потребителю для принятия оптимальных решений при использовании ветроэнергоресурсов.

Результаты изучения ветроэнергетических ресурсов области можно обобщить в следующих выводах:

- комплексный анализ всех климатообразующих факторов, а главным образом особенностей рельефа, прилегающего к Калининградской области, и своеобразия ее ветрового режима, позволяет выделить специфический Балтийский коридор, характеризующийся повышенной ветровой активностью по сравнению с другими районами западного побережья Балтики;
- анализ комплекса режимных характеристик скорости и направления ветра и его пространственно-временного распределения характеризуют Калининградскую область как территорию повышенной ветровой активности;
- по основным показателям ветровой активности на территории Калининградской области выделены три ветронасыщенные зоны, различающиеся между собой плотностью мощности ветра (удельной мощностью ветра), или уровнем потенциальных ветроэнергоресурсов: зона активной, средней и малой ветровой деятельности. Наиболее перспективной для развития (использования) крупной ветроэнергетики является зона активной ветровой деятельности;
- рекомендации, данные по размещению ВЭУ и ВЭС на территории Калининградской области, основываются на том, что практически вся территория области обладает значительным ветроэнергетическим потенциалом, но наиболее целесообразным видится использование ветроэнергетики в прибрежном районе и не только потому, что данный район обладает наиболее высоким ветроэнергетическим потенциалом, но и потому, что площадь прилегающей морской акватории и заливов в перспективе также может быть использована в целях ветроэнергетики;

- ветронасыщенные зоны, для которых рассчитаны качественные и количественные показатели сезонных и среднемноголетних карт, характеризуют территориальную дифференциацию ветроэнергетического потенциала;

- представленная методика позволяет рассчитать не только потенциальные ветроэнергоресурсы, но и количество электроэнергии, которую могут выработать конкретные ветроэнергетические установки в Калининградской области (технические ветроэнергоресурсы);

- уровень потенциальных ветроэнергоресурсов является достаточно высоким (по мировым стандартам), что делает ветроэнергетику одним из перспективных направлений развития энергетического комплекса области;

- достаточно высокая экологическая значимость использования ВЭУ как в плане сбережения природных ресурсов, так и в процессе сохранения окружающей среды.

Таким образом, анализ специфических характеристик ветра и ветрового режима в целом, а также характеристика ветроэнергетических ресурсов Калининградской области представляет собой не только важное научно-исследовательское направление, но и служит необходимым инструментом для принятия решений об экономических нововведениях и обоснования региональной энергетической политики в пользу освоения экологически чистой и рентабельной энергии ветра.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абалкина И. Экономика. Опыт охраны окружающей среды в США // Экономические науки. - 1988. - № 4.
2. Абдрахманов Р.С., Переведенцев Ю.П. Возобновляемые источники энергии // Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1992. - 134 с.
3. Агалаков В.С. и др. Оценка природных ветроэнергетических ресурсов пограничного слоя атмосферы по данным наблюдений // Тр. ВНИИГМИ - МЦД. - 1986. - Вып. 132. - С.13-19.
4. Анапольская Л.Е. и др. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки // Метеорология и гидрология. - 1978. - № 7. - С.11-17.
5. Безруких Н.П. Нетрадиционная энергетика // Деловой мир. - 1993. - 22-28 ноября. - С.10.
6. Белов Н.Ф., Панев В.В. Оценка ветроэнергетических ресурсов на Крайнем Севере СССР. Л., 1984. - Деп. в ИЦ ВНИИГМИ - МЦД 11.04.84, № 120 гм.
7. Болдырев В.Л. Калининградское побережье Балтики с позиций комплексного народнохозяйственного освоения // Береговая зона моря. - М., 1981. - С.126-133.
8. Борисенко М.М. Основные направления климатических исследований для целей энергетики // Прикладная климатология: Сб. тр. Всесоюз. совещания. - 1990. - С.239.
9. Борисенко М.М., Смирнова А.В., Иванов Ю.Л. Исследование особенностей режима ветра на акватории восточной части Финского залива для прикладных задач. - Л., 1985. - Вып. 2(15). - С.3-31.
10. Борисенко М.М., Соколова С.Н. О климатических параметрах ветроэнергетики на побережье морей // Тр. Зап.-Сиб. НИИ Госкомгидромета. - 1981. - Вып. 50. - С.75-81.
11. Борисов А.А., Барина Г.М. Климат и микроклимат Калининградской области и их практическое использование // Изученность природных ресурсов Калининградской области. - Л., 1972. - Вып. 1. - С.43-53.
12. Брагинская Л.Л. О климатических ветроэнергоресурсах // Тр. ГГО. - 1982. - Вып. 447. - С.38-48.
13. Брагинская Л.Л. О распределении климатических ветроэнергоресурсов по территории СССР // Тр. ГГО. - 1983. - Вып. 466. - С.120-128.
14. Брагинская Л.Л., Вимберг Г.П. Об оценке экономической эффективности использования климатической информации в народном хозяйстве // Прикладная климатология: Сб. тр. Всесоюз. совещания. - Труды ГГО. - 1990. - С.61.
15. Брюхань Ф.Ф., Дробышев А.Д. Оценка климатических ветроэнергоресурсов // Сб. науч. тр. Гидропроекта. - 1988. - Вып. 129. - С.48-54.
16. Брюхань Ф.Ф., Корнюшин О.Г., Пономаренко Л.В. Ветроэнергетический потенциал нижнего 500-метрового слоя атмосферы над территорией СССР // Изв. АН СССР. - Сер. геогр. - 1987. - № 3. - С.76-82.
17. Ветроэнергетика / Под ред. Де Рензо; Пер. В.В.Зубарева, М.О.Франкфурта. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - С.272.

18. Ветроэнергетические агрегаты // Хозяин. - 1993. - № 1. - С.46-47.
19. Владимиров А.М. и др. Охрана окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
20. Гарцман Л.Б. Методы расчета прикладных характеристик режимов поступления, преобразования и оптимального потребления энергии ветра и солнца // Прикладная климатология: Сб. тр. Всесоюз. совещания. - Труды ГГО. - 1990. - С.230.
21. Гриневич Г.А. Опыт разработки элементов малого ветроэнергетического кадастра Средней Азии и Казахстана.- Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1952.- С.152.
22. Дробышев А.Д. Учет климатических характеристик скорости ветра для оптимизации режимов работы ветроэнергетических установок // Тр. Зап.-Сиб. НИИ. - 1987. - Вып. 80. - С.11-21.
23. Кобышева Н.В., Степанская Г.А., Чмутова З.Е. Оценка потенциальных ветроэнергетических ресурсов на территории СССР // Тр. ГГО.- 1983.- Вып.475.- С.7-12.
24. Красовский Н.В. Ветровые энергоресурсы СССР и перспективы их использования // Генеральный план электрофикации СССР.- М., 1932.- Т.1.- С.440-464.
25. Оранский И.Н. Запасы энергии в Западной Туркмении и перспективы ее использования // Средне-Азиатский энергетический сб. - Ташкент, 1933. - Т.2. - С.75-84.
26. Орлова Н.С., Тупикин С.Н. Методологические основы использования климатической информации в целях рационального природопользования // Региональные исследования Калининградской области: итоги и перспективы. Калининград, 1992. - С.157-160.
27. Орлова Н.С. К вопросу исследования ветроэнергоресурсов в Калининградской области: Тез. докладов 2-й обл. науч.-практ. конф. по проблемам активизации науч.-техн. деятельности в анклавном регионе России. - Калининград, 1996. - С.35.
28. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок: Методические указания. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - С.56.
29. Симонов Н.В. Запасы энергии ветра Казахстана // Материалы для изучения естеств. производ. сил СССР. - Л., 1927. - № 62.
30. Симонов Н.В. Запасы энергии ветра в СССР. - Л., 1933. - С.64.
31. Тупикин С.Н. Погода и климат Балтийского моря // Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. - Т.3. Балтийское море.- Вып. 1. Гидрометеорологические условия. - Спб.: Гидрометеиздат, 1992. - С.94-197.
33. Тупикин С.Н. Штормовые ветры южной части Балтийского моря и их влияние на производственную деятельность морских народнохозяйственных организаций: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 1982.