

# **Энергетика Алтая**

## **Ветер в сеть**

**Барнаул 2008**

---

ББК 20.1+31.1

Э 65

Энергетика Алтай. Ветер в сеть / под ред. О.З. Енгоян. — Барнаул: изд-во АКОФ «Алтай — 21 век», 2008.

Издание посвящено проблемам энергообеспечения юга Западной Сибири, Алтай и возможным путям их решения. Основное внимание уделено вопросам использования энергии ветра — теории и практике применения ветроустановок для тепло- и электроснабжения.

**Издание осуществлено при информационной поддержке  
Национальной библиотеки Республики Алтай  
им. М.В. Чевалкова**

**и при финансовой поддержке Pacific Enviromental (USA)**

Особую благодарность выражаем заместителю директора ООО «Электросервис» г. Горно-Алтайск, инженеру — **Юрию Ивановичу Тошпокову** за неоценимую помощь в подготовке издания.

---

## Содержание

Часть I .....	5
Введение .....	5
Камо грядеши? .....	5
Как спасали Зейскую ГЭС .....	6
Такие знакомые грабли... ..	8
На кого будем равняться? На Запад? .....	9
или... на Восток? .....	10
Хорошо забытое старое .....	10
Проблемы энергообеспечения и возможности региона .....	15
Теплоснабжение — ключевой вопрос энергоснабжения Сибири .....	15
Негатив и позитив .....	16
Научный подход к установлению ВЭС .....	18
Автономное энергоснабжение и энергосбережение в Республике Алтай на базе НВИЭ .....	21
Часть II .....	23
Энергия ветра: немного теории .....	23
Семь раз отмерь... ..	23
Тише едешь... ..	27
Устройство ветроустановок .....	28
Классификация ветроустановок .....	29
Куда и сколько ставить будем? .....	35
Энергогенерирующий комплекс: движение воздуха и воды .....	37
Использование энергии ветра на ТЭЦ .....	39
Иллюстрации .....	43
Часть III Приложения .....	45
Приложение I П.К. Горчаков, Ю.В. Кондратюк Основные характеристики и перспективы ветроэнергетики .....	45
Ветер как энергетический ресурс .....	45

---

Основные вопросы проектирования ветросиловых агрегатов .....	48
Крымская ветроэлектростанция .....	53
Ветроэлектростанция 100 кВт .....	55
Перспективы промышленного использования энергии ветра.....	57
Работа по ветроэнергетике в третьей пятилетке .....	61
Иллюстрации .....	62
Приложение II Будем строить флюгер Вильда.....	63
Приложение III Ветроэнергетика в России .....	67
Приложение IV Финансирование ветроэнергетического проекта.....	69
Первоначальные капитальные затраты .....	70
Ежегодные эксплуатационные затраты .....	71
Приложение V Федеральный закон «Об электроэнергетике» (извлечения) .....	74
Приложение VI Нормативно-правовое сопровождение .....	78
ГОСТ Р 51237-98 Ветроэнергетика Термины и определения .....	78
ГОСТ Р 51990-2002 Ветроэнергетика Установки ветроэнергетические Классификация .....	91
ГОСТ Р 51991-2002 Ветроэнергетика Установки ветроэнергетические Общие технические требования .....	101
Приложение VII Часто задаваемые вопросы .....	114
Приложение VIII Соотношения некоторых единиц энергии (работы, теплоты).....	116
Приложение IX Список использованной и рекомендуемой литературы .....	117
Приложение X Интернет–ресурсы .....	122
Приложение XI Производители ветроэнергетического оборудования .....	126

---

---

---

# Часть I

---

---

*С течением времени «железная пята» таких электростанций  
и других промышленных левиафанов  
может растоптать и пашиню и лес,  
ступит на берега прозрачных рек, люди будут мечтать  
о глотке чистого воздуха и свежей воды...  
Серьезно, очень серьезно подумайте об этом...  
(Из беседы В.И. Ленина с Г.М. Кржижановским<sup>1</sup>, 1921 год)*

---

## Введение

### Камо грядеши?

За последнее десятилетие в разы увеличилось количество техногенных катастроф, связанных с ошибками, просчетами, недочетами и прочими оплошностями и промахами при проектировании энергетических объектов. Зарегулированные плотинами реки выходят из берегов, сносят жилища, отрезают поселки от мира<sup>2</sup>. Выбросы электростанций, работающих на угле, опасно превышают ПДК, заброшенные угольные шахты проваливаются, на работающих шахтах все больше взрывов и жертв<sup>3</sup>. Газ и нефть непрерывно дорожают и чре-

---

<sup>1</sup> Цит. по: Наука и жизнь. №7, 1988.

<sup>2</sup> Справедливости ради нужно отметить, что при паводках у властей и общества возникает противоречие:

— во избежание подъема уровня зеркала водохранилища и затоплений выше плотины воду в водохранилище нельзя аккумулировать, то есть нужно сбрасывать воду;

— во избежание подъема уровня воды в русле реки ниже гидроузла воду из водохранилища в нижний бьеф сбрасывать нежелательно.

Ситуация более чем парадоксальная: при любом решении страдают местные жители.

<sup>3</sup> Один из последних примеров: 18 ноября, на шахте им. Засядько в Донецке произошел взрыв газовой смеси. На момент аварии под землей

ваты не меньшими проблемами, чем уголь, — как загрязнением окружающей среды отходами добычи и использования, так и образованием пустот в земной коре<sup>1</sup>.

Происходит это не потому, что строить стали плохо (хотя отчасти и поэтому), но в значительной степени потому, что вторжение человека в природные процессы оказалось слишком большим, тогда как его знания об этих процессах оказались слишком примитивными. Природные процессы, как показала жизнь, гораздо сложнее теоретической механики или даже ядерной физики.

Последними примерами (перед изданием этой книжки) были взрывы на донбасских и кузбасских угольных шахтах, взрыв магистрального трубопровода в Татарстане (когда горело сразу три нитки газопровода) и, конечно, ситуация, сложившаяся вокруг «спасения» Зейской ГЭС<sup>2</sup>. На последнем примере остановимся подробнее.

## Как спасали Зейскую ГЭС

*«...Зейская ГЭС —  
первая крупная гидроэлектростанция Дальнего Востока.  
Наша миссия заключается в производстве дешевой электроэнергии  
и защите жителей Приамурья от разрушительных наводнений...»<sup>3</sup>*

Июль 2007-го года стал для людей, проживающих вблизи Зейской ГЭС, катастрофическим: многодневные проливные дожди привели к тому, что зарегулированная река вышла из берегов, водохранилище Зейской ГЭС переполнилось, и вздыбившаяся река стала представлять реальную угрозу для плотины. Чтобы спасти плотину Зейской ГЭС, энергетикам пришлось увеличить попуски воды —

---

находилось 457 человек. В первые дни были обнаружены тела 88 погибших шахтеров, 77 из них в первые сутки были подняты на поверхность. Неизвестной остается судьба 12 горняков, считающихся с момента аварии пропавшими без вести. — <http://www.rosbalt.ru/2007/11/21/433047.html>.

<sup>1</sup> Кстати, горно-рудные выработки шахтного типа стоят на втором месте по влиянию на сейсмичность региона после искусственных водохранилищ (см., например, «Природные опасности России»: В 6 т. Т. 2: «Сейсмические опасности» / Под общ. ред. В.И. Осипова, С.К. Шойгу. — М.: КРУК, 2000. — 295с).

<sup>2</sup> См. Точка зрения №7. По материалам сайта «Стихийные бедствия» от 22 июля 2007 г <http://www.rambler.ru/news/events/disasters.html>.

<sup>3</sup> Официальный сайт Зейской ГЭС (<http://www.zges.ru>).

сбросить лишнюю воду через створы гидроэлектростанции. Уровень воды в Зейском водохранилище поднимался на 10–15 см ежедневно (только за сутки 22 июля поднялся на 13 см) и достиг отметки почти 320 метров (над уровнем моря, причем высота самой плотины «все-го» 115,5 м), несмотря на увеличение сбросов воды с 3,7 до 4,15 тыс. кубометров в секунду. Суточный приток воды более чем втрое превышал ее допустимый расход через шлюзы и работающие агрегаты Зейской ГЭС.

Масштабные сбросы вызвали затопление более 40 домов островной части села Овсянка. Поднявшаяся вода отрезала от внешнего мира село Александровка, где на тот момент проживали 228 человек. Людей пришлось вывозить с помощью МЧС.

В зону подтопления попало также село Алгач, где затоплены 2 моста. В районе поселков Юбилейный и Поляковский произошел обрыв линий связи. Вода подошла к домам на улице Портовая в городе Зея.

Из зон подтопления были эвакуированы сотни людей. В Зейский район, где был введен режим чрезвычайной ситуации, направили «КамАЗ» с полевыми кухнями, машину связи для обеспечения бесперебойной связи оперативных групп, работающих в населенных пунктах. Кроме того, вертолет доставил 3 комплекта оборудования средств космической связи.

По информации регионального центра МЧС, группировка сил и средств, направленных на ликвидацию чрезвычайной ситуации, составляла 360 человек. В районе ЧС находились 162 единицы техники, в том числе плавсредства.

Согласно заявлению генерального директора Зейской ГЭС Ирины Савельевой, город и район были переведены в режим чрезвычайной ситуации. Никогда за время существования этой ГЭС (а она работает уже более сорока лет — с 1964 года) здесь не было таких масштабных сбросов.

Итак, под удар стихии попали несколько населенных пунктов, сотни людей фактически лишились жилья, остались без средств к существованию... В то же время для защиты ГЭС спасатели возвели насыпную дамбу и снесли временные перекрытия на реке Зее, чтобы разгрузить ее русло...

В том или ином масштабе подобные ситуации складываются практически на любом техногенном объекте: для сохранения или создания объекта в жертву приносятся интересы местных жителей.

---

При этом подводится благовидная основа — «дескать, вы сейчас, пока мы все это строим, претерпите неудобства, потери, зато потом...» Как правило, этого «потом» не бывает. Вернее, бывает, но не совсем то, что обещали «благодетели». Такова практика реализации подавляющего большинства проектов, связанных с разрушением привычной среды обитания людей, которые живут в непосредственной близости к ГЭС, АЭС, месторождениям нефти и газа, магистральным трубопроводам.

### **Такие знакомые грабли...**

Технология «уговоров» местного населения мало чем отличается от любой другой рекламной или политической технологии.

Вы замечали, что когда начинается, как сейчас модно говорить, «раскрутка» нового товара, о нем говорят много, иногда просто многократно повторяя одно и то же. Ведь главное на этом этапе — вбить потенциальному покупателю в голову, что такой товар (магазин, услуга) имеется, что без этого товара (магазина или услуги) жизнь этого покупателя и не жизнь вовсе, а так, прозябание.

Вот и при агитации за тот или иной природоразрушительный проект применяется та же технология: без Алтайской ГЭС невозможно обойтись — это первоочередной объект энергетики в Республике Алтай; без газопровода в Китай — тем более. И все идет по той же технологии: сначала апологеты проектов заверяют: «поверьте нам, мы же специалисты»; потом убеждают, что нужно чем-то пожертвовать, ведь «не разбивши яйца — не сделать яичницу»; а потом говорят, что, дескать, «да, не рассчитали, есть проблемы, но уже куда не денешься, пусть стоит»...

А ведь энергетическую проблему можно решить гораздо меньшей кровью. И проблему электроснабжения, и, что для Сибири гораздо важнее, проблему теплоснабжения.

Безусловно, уровень решения во многом зависит от уровня проблемы: снабжать электроэнергией ткацкую фабрику, завод железобетонных изделий или металлопрокатный комбинат — это совершенно разные подходы к энергоснабжению. Снабжение теплом и горячей водой туристического комплекса и научно-исследовательского института может решаться одинаково, а снабжение этих учреждений электроэнергией во многом будет зависеть от специфики того и другого.

Вот сейчас в Республике Алтай делается ставка на развитие элитного туризма — проектируется создание современного горнолыжного курорта. Но решение энергетического обеспечения этого курорта, увы, далеко от современных подходов к энергетике, как, впрочем, и от требований охраны окружающей среды, уникальной природы Горного Алтая.

## **На кого будем равняться?**

### **На Запад?**

И, главное, ведь есть уже не просто примеры, но практически сформировавшаяся тенденция экономически эффективного внедрения и использования действительно современного энергетического оборудования на базе возобновляемых источников энергии, причем в странах с климатом, очень близким к алтайскому, например, в Швеции.

Вот только один, но далеко не единственный пример. Начиная с конца 2005 года, на горе Алмоса (60 км к северу от Остерсунда) функционирует ветряной генератор<sup>1</sup>. Лыжная база, расположенная на территории Алмоса, получает электричество от ветряной станции мощностью 0,85 МВт, годовая производительность которой составляет 2000 МВт•ч. И хотя при запуске устройства возникли некоторые проблемы, однако в настоящее время станция работает исправно даже при отключенной системе очистки ото льда<sup>2</sup>. Ветряной проект Алмоса является частью экологической программы Йемткрафт, заключающейся в разработке новой технической базы для генерации электричества из ветряной энергии. После оценки прибыли от станции было принято решение об инвестировании других проектов<sup>3</sup>.

Другой пример. Норвегия реализует проект по созданию ветростанции на острове Кармой. Основная причина этого решения: стремление обеспечить бесперебойное энергоснабжение острова, где среди прочего расположен завод, специализирующийся на производстве металлов (!).

Еще пример. Великобритания за короткий период построила ветропарки (морского базирования), общая установленная мощность

<sup>1</sup> Диаметр лопастей равен 52 метрам.

<sup>2</sup> При таком условии потеря электричества составляет 10%.

<sup>3</sup> Чистая энергия, №1'2004, стр. 2.

которых превысила 210 МВт и сейчас реализует проекты, которые в ближайшем будущем увеличат этот показатель почти на порядок.

Но безусловным лидером в Европе является Германия, где установленная мощность ветропарков составляет почти 20 тыс. МВт, вырабатывающих почти 6% потребляемой немцами энергии. Не отстают Дания и Голландия.

### **или... на Восток?**

Азиатские страны, хотя и отстают пока от Германии даже по суммарной установленной мощности, тем не менее ежегодно приращивают установленную мощность в среднем на 46%. Лидером здесь является Индия, где установленная мощность ветропарков в 2006 году приблизился к 4,5 тыс. МВт.

В Китае оценили наиболее доступный потенциал ветроэнергии: на суше он составил 253 тыс. МВт, а шельфовая зона может обеспечить еще 750 тыс. МВт. Однако реально введены в строй пока только (!) чуть меньше 1,5 тыс. МВт. Здесь нужно отметить, что создание ветропарков в Китае сопровождается законодательно не только в плане регулирования цен на вырабатываемую в этих ветропарках энергию, но и, например, в такой сфере, как производство комплектующих деталей для ветростанций — 70% этих комплектующих должно быть произведено в Китае!

Япония, делая в основном ставку на высокие технологии (а по-сему активно развивающая и совершенствующая производство солнечных батарей), тем не менее за четыре года (2002–2006) увеличила установленную мощность ветропарков более чем в два раза: с 461 МВт до более чем 1 тыс. МВт.

### **Хорошо забытое старое...**

Но вернемся на родину. Как бы странно это ни звучало, но Россия имеет не менее богатый опыт внедрения ветродвигателей, чем, скажем, Германия. Хотя многое идет именно оттуда.

И если Германия стремилась компенсировать исчерпаемость ресурсов и их труднодоступность<sup>1</sup>, то Россия (в свою бытность Советским Союзом) делала это для того, чтобы не отстать, чтобы передо-

---

<sup>1</sup> Чему, кстати сказать, немало способствовал энергетический кризис 70-х годов прошлого века.

вые технологии рождались бы здесь, в родных пенатах, а не ввозились бы зарубежными «благодетелями»<sup>1</sup>.

В начале 19-го века энергия ветра в России использовалась главным образом для помола зерна. Число ветряных мельниц достигало 200 тыс. шт. Это были деревянные ветряные мельницы с четырьмя лопастями средней мощностью 3,5 кВт. Ветряные мельницы перемалывали в год около 34 млн. тонн зерна. Все ветряные мельницы были местного крестьянского производства, их постройка основывалась на многолетнем практическом опыте.

Советская власть, стремясь наверстать упущенное практически во всех сферах человеческой деятельности, в том числе в науке, индустриализации, сельском хозяйстве, старалась не только взять самое передовое из западной практики, но и развить все это, сделать доступным, рабочим, но в то же время наукоемким<sup>2</sup>.

Так, 8 апреля 1921 года Ленин писал Кржижановскому: «Я хорошо помню, что читал до войны о замечательном развитии ветряных двигателей и о том, что достигнуты там замечательные успехи. Нельзя ли заказать спецу точную справку: укажи литературу, особенно немецкую. И сначала изучить (в Госплане) ее»<sup>3</sup>. Но еще в апреле 1918 г. в «Наброске плана научно-технических работ» В.И. Ленин предлагает Всесоюзному совету народного хозяйства (ВСНХ) поручить академии наук «образовать ряд комиссий из специалистов для возможно более быстрого составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России». В наброске определялись основные направления плана: рациональное размещение промышленности в России; слияние и сосредоточение производства в немногих крупнейших предприятиях; наибольшее обеспечение возможности самостоятельно снабдить себя всеми главнейшими видами сырья; особое внимание — электрификации промышленности и транспорта и применению электричества к земледелию; **применение водных сил и ветряных двигателей вообще и в частности к земледелию.**

<sup>1</sup> Когда старое оборудование продается в Россию, а европейские ветропарки комплектуются новым, более мощным и современным.

<sup>2</sup> Кстати сказать, ветроэлектростанции использовались и на юге Томской губернии, здесь, на Алтае. Например, в отдаленных районах сельские радиоточки были оборудованы ветряком с аккумулятором: ветер заряжал аккумулятор и репродуктор работал.

<sup>3</sup> В.И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 52, стр. 134.

Надо сказать, что советские изобретатели не оставили без внимания эти замечания вождя. Более того, отрасль ветроиндустрии развивалась достаточно быстрыми темпами.

Теоретические и экспериментальные работы по ветродвигателям начали проводиться в 1920-х годах, в результате чего для нужд сельского хозяйства были разработаны многолопастные ветродвигатели цельнометаллической конструкции диаметром 5–8 м (ТВ–5 и ТВ–8). Массовое производство этих установок относится к 1936 г., когда было построено 1300 установок, укомплектованных поршневыми насосами. Производительность ТВ–5 составляла 1 м<sup>3</sup>/ч при скорости 3 м/с и 5 м<sup>3</sup>/ч при скорости ветра 5 м/с. ТВ–8 обеспечивала в 3–3,5 раза большую производительность.

К довоенному периоду относится также разработка ВЭУ с ветроколесами диаметром 8 и 12 м. Последний агрегат был укомплектован генератором 15 кВт. Он использовался на 16-ти станциях Северного морского пути и показал высокую надежность в работе в условиях Крайнего Севера.

Фамилии специалистов, ученых, которые разрабатывали ветроустановки, исследовали принципы и возможности использования ветроресурсов, — эти фамилии достаточно известны не только в сфере изобретательства. Достаточно вспомнить одного из основоположников космонавтики Юрия Владимировича Кондратюка, руководившего разработкой рабочего проекта мощной (по тем временам — мощнейшей) Крымской ветроэлектрической станции. Эта станция была построена в 1931 году недалеко от Севастополя. Мощность станции составляла 100 кВт, она имела ветроколеса диаметром 30 м и была оснащена асинхронным генератором. Станция работала очень успешно на местную энергосистему.

Кстати сказать, эти разработки положили начало широкомащтабной научно-исследовательской и практической работе по ветродвигателям и ветроустановкам: руководством страны было принято решение о переходе на проектирование и строительство маломощных ветроэлектростанций, для чего был создан Ветросектор при Теплоэлектропроекте. Начальником этого сектора стал Юрий Васильевич Кондратюк. Осенью 1939 года им в соавторстве с П.К. Горчаковым была опубликована статья «Основные характеристики и перспективы ветроэнергетики» в журнале «Электрические станции». Вплоть до ухода добровольцем на фронт в июле 1941 года Ю.В. Кондратюк руководил отделом по проектированию маломощ-

ных ветроэлектростанций ВЭС–2–Д–20 на 100 кВт и ВЭС–2–Д–30 на 250 кВт.

Кондратюком было сделано многое для становления ветроэнергетики в СССР. Уровень же Кондратюка как ученого можно оценить хотя бы по тому, что его работы в значительной степени способствовали развитию космонавтики в нашей стране.

Когда знакомишься с литературой того времени, посвященной ветроэнергетике, поражает та основательность, проработанность и масштабность, с которой эти книги, брошюры, статьи написаны. А работ было написано немало.

Чтобы дать представление о том, насколько серьезным был подход к использованию ветроэнергии в СССР и внедрению ветроагрегатов в жизнь, перечислим лишь несколько наиболее приметных изданий: Е.М. Фатеев «Системы ветродвигателей», Госэнергоиздат, 1933 г.; Е.М. Фатеев «Ветродвигатели и ветроустановки», Сельхозгид, 1948 г.; А.В. Кармишин «Применение ветродвигателей на животноводческих фермах», Машгиз, 1952 г.; Я.И. Шефтер, И.В. Рождественский «Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках», Издательство Министерства сельского хозяйства СССР, Москва, 1957 г. и другие.

В 1963 году были разработаны и опубликованы «Методы разработки ветроэнергетического кадастра».

Но публикациями дело не ограничивалось. Изготавливались экспериментальные модели, начиналось серийное производство. Однако многому помешала война. Крымская ВЭС была разрушена, заводы, выпускавшие до войны комплектующие для ветродвигателей и сами ветроустановки, во время войны были переориентированы на военные нужды, а после войны — на масштабное восстановление народного хозяйства. Поэтому послевоенное время ознаменовалось не только началом использования атомной энергии, но и ориентацией как в промышленности, так и в производстве энергии на централизованные системы, а это требовало создания мощных энергоузлов, линий электропередач.

Тем не менее в 50-х годах в СССР ветродвигатели выпускали 44 завода. Максимальный уровень производства был достигнут в 1955 году — 9142 шт. Наибольшим спросом пользовался ветродвигатель ТВ–8, который стал применяться не только для различных видов водопользования, но и для переработки кормов. На водоснаб-

жение ферм в России в 7-ми областях в 1958 году работали 2352 установки. Ветродвигатели окупали себя за 1–2 года работы. Ветродвигатель Д–12 также использовался для механизации трудоемких процессов в животноводстве и для водоснабжения. Более 3 тысяч радиоузлов в стране в 1956 году питалось от аккумуляторных батарей, заряжаемых с помощью ветроэлектрических агрегатов типа ВЭ–2 мощностью 100 кВт.

На базе ветроагрегата Д–18 была создана ветро-дизельная электростанция мощностью 25 кВт и многоагрегатная станция мощностью 400 кВт.

С развитием централизованного электроснабжения и электрификации сельского хозяйства ВЭУ стали терять свое прежнее значение для села. Задачей ветроэнергетики на современном этапе стало обеспечение энергией удаленных потребителей.

Ориентация на централизованное энергоснабжение и крупные электростанции привела к тому, что ветроэнергетика отошла на задний план. Тем не менее в период с 1968 по 1975 годы в ряде организаций были разработаны новые ветроэлектрические агрегаты мощностью от 1 до 30 кВт.

Однако это не могло, конечно, соперничать с широкомасштабными разработками в сфере ветроэнергетики, которые велись в европейских странах. Толчком к таким широкомасштабным разработкам стал энергетический кризис, охвативший развитые страны в 1973–1976 годах. Правительства этих стран вынуждены были искать альтернативные пути решения энергетических проблем, что послужило поводом к формированию как общественного движения в поддержку и за развитие возобновляемых экологически безопасных источников энергии, так и государственных программ, нацеленных на финансирование разработок в этой сфере.

Результатом стало не только решение энергетических проблем с минимальным ущербом для окружающей среды, но создание вполне конкурентоспособного сектора экономики и сотен тысяч рабочих мест, развитие наукоемких производств, формирование положительного имиджа ряда европейских стран, в которых ветроэнергетика развивается наиболее успешно.

Кроме того, всплеск в 1970-х годах интереса к альтернативным экологически безопасным источникам энергии показал, что возможности ветроэнергетики значительно шире, чем водоснабжение отдельных хозяйств или переработка кормов. Сегодня за счет исполь-

зования ветропарков производится столько электроэнергии, что ее хватает для удовлетворения потребностей в энергии крупного города, такого, как, например, Сан-Франциско в течение года.

---

### **Проблемы энергообеспечения и возможности региона**

Мы уже отмечали, что подход в решении энергетических проблем во многом зависит от уровня энергопотребления предприятий или региона в целом. Ветроэнергетика, в отличие от гелиоэнергетики или биогаза, позволяет решать гораздо более широкий спектр задач: от энергоснабжения крупного предприятия до обеспечения теплом и светом небольших ферм, поселков, хуторов. И решать эти задачи ветроэнергетика позволяет очень эффективно.

Именно вопрос энергоснабжения разрозненных потребителей наиболее актуально стоит в отдаленных районах, каковых много на юге Западной Сибири, на Алтае. Зачастую такие территории имеют все возможности развиваться, создавать производства, оказывать самые разнообразные услуги — есть и специалисты, и природные ресурсы, и спрос... Основным препятствием здесь является инфраструктура: электроснабжение, теплоснабжение, дороги, связь.

---

### **Теплоснабжение — ключевой вопрос энергоснабжения Сибири**

Энергетические проблемы можно условно подразделить на три основные группы: электроснабжение, теплоснабжение и выполнение механической работы.

Несмотря на обилие электричества в нашей жизни, основные энергозатраты приходятся на теплоснабжение. В тоннах условного топлива<sup>1</sup> в нашем регионе энергозатраты на теплоснабжение на порядок превышают потребности в электричестве. Это связано, естественно, с климатическими особенностями региона: низкие зимние температуры, продолжительный холодный период, резко континен-

---

<sup>1</sup> Таблицу соответствий см. в Приложении.

тальный климат. И в этом контексте ветроэнергетика приобретает дополнительные преимущества.

Во-первых, ветроагрегаты без особых сложностей можно не только использовать в сочетании с различными электрогенерирующими источниками энергосистемы, но и как совершенно самостоятельный источник теплоснабжения. Тем более что в этом случае отпадает надобность в некотором оборудовании, которое необходимо при использовании ветряков для производства электроэнергии.

Во-вторых, интенсивность ветров по сезонам года совпадает с пиковыми сезонными нагрузками энергосистем (и теплоснабжения, и электроснабжения) — зимой ветры чаще и сильнее, чем летом; одновременно и потребность в теплоэнергии и электроэнергии зимой выше, чем летом.

Поэтому для удаленных территорий, имеющих перспективы для развития ветроэнергетики (а юг Западной Сибири, Алтай, безусловно относится к таким территориям) использование ветроустановок для теплоснабжения имеет большое значение.

---

### Негатив и позитив

Увы, но идеальный источник энергии, который мы, люди, могли бы использовать, не оказывая абсолютно никакого влияния на окружающую нас среду — еще не придуман человечеством. А потому нельзя в нашей книжке обойти стороной и вопросы баланса плюсов и минусов, достоинств и недостатков, которые присущи ветроустановкам.

Начнем с негатива. Основной недостаток — ветер изменчив и не всегда предсказуем. При работе в энергосистеме требуются дублирующие мобильные мощности, а при работе на локального потребителя — аккумулятор.

Затем, любое техногенное сооружение имеет свои недостатки. У ветроустановок их три.

1. Шум. Вращение лопастей, работа генератора не бывает бесшумной, а вращение лопастей в несколько метров — тем более. Однако современные конструкции этих агрегатов<sup>1</sup> позволяют снизить

---

<sup>1</sup> Это касается только современных конструкций ветродвигателей, созданных и произведенных не ранее середины 90-х годов прошлого века.

шумовое воздействие настолько, что при условии, если ветродвигатель располагается на расстоянии более 250 метров, уровень звука его работающих деталей не превышает уровня звука обычной автомагистрали.

2. Птицы<sup>1</sup>. Вращающиеся лопасти действительно могут стать причиной гибели пернатых, а также летучих мышей. Дискуссии на эту тему ведутся уже давно. Одно из основных правил: прежде чем устанавливать один, а тем более несколько ветряков, нужно изучить, как птицы и летучие мыши используют данную территорию. Но на самом деле важность этой проблемы остается под вопросом до сих пор. Ведь, как правило, птицы замечают появившиеся в ареале их обитания новые постройки, научаются их избегать (особенно вращающиеся лопасти) и... продолжают здесь кормиться и размножаться. Проблемы же возникают в том случае, если ветроустановки были размещены на маршрутах миграции большого количества птиц или в особо привлекательных местах их кормежки и гнездования. Кроме того, современные ветровые установки имеют лопасти, которые вращаются значительно медленнее, чем у их предшественников, а стало быть, создают гораздо меньше проблем в плане сохранения птиц, летучих мышей и мест их обитания.

3. Эстетика. Увы, не всем нравится наблюдать ветровые турбины на фоне природного пейзажа, ведь это высокие (по несколько десятков метров в высоту) сооружения, которые видны с относительно больших расстояний. С другой стороны, они выглядят гораздо изящнее, чем нефтяной фонтан, газовый факел или колючая проволока атомной электростанции, и уж точно значительно приятнее гниющих берегов искусственных водохранилищ ГЭС.

Позитивных моментов, конечно, больше. Во-первых, это сохранение наших рек, наших природных богатств, наших недр, наших ресурсов. Во-вторых, это отсутствие выбросов парниковых газов и

---

Использование устаревших, вышедших из употребления агрегатов (а именно такие ветроустановки сегодня пытаются навязать России западные производители, обновляющие европейский парк ветряков) может привести, с одной стороны, к реальному ущербу от шумового и вибрационного воздействия ветродвигателя устаревшей модели, а с другой, — к дискредитации самой идеи внедрения ветроустановок в нашу жизнь.

<sup>1</sup> Современные конструкции ветряков (см. предыдущую сноску) позволяют свести практически к нулю вибрационное воздействие на почвы, грунт и сообщества животных, обитающих на данной территории.

твердых частиц, загрязняющих среду обитания, а значит, снижение воздействия на климат. В-третьих, доступность, а значит, возможность сформировать свою собственную энергетическую базу как отдельному предпринимателю, так и отдельному населенному пункту, группе предприятий, региону. В-четвертых, ветроустановки позволяют использовать энергию ветра как для получения электрической энергии, так и для теплоснабжения. В-пятых, ветроустановка может работать как на аккумулятор, так и в единую энергетическую сеть, а это значит, что вырабатываемую энергию можно продавать.

Кроме того, развитие ветроиндустрии оказывает положительно влияние на социально-экономическую сферу:

- создание и развитие новых производств: как собственно ветроагрегатов, так и комплектующих к ним;

- развитие инфраструктуры (в том числе, строительство и производство строительных материалов);

- вложения в местную экономику (особенно, если это проект локальной энергосистемы или теплоснабжения);

- создание рабочих мест на предприятиях по текущему ремонту и обслуживанию ВЭУ;

- годовой доход по проекту;

- арендная плата за землю;

- налоги в бюджеты разных уровней (в зависимости от уровня ВЭС и ее включенности в централизованное энергоснабжение);

- страхование (владельцы могут захотеть получить страховку от непредвиденных обстоятельств).

А как наиболее дешевый и доступный источник электроэнергии, ветер имеет своих сторонников в 95 странах мира. Правда, сегодня энергетики этих стран уделяют больше внимания строительству ветряных турбин большой мощности — от 1 мегаватта и выше, которые дают в десятки раз больше электричества, чем средняя модель ВЭС. Однако и маломощным установкам уделяется далеко не последнее внимание в самых разных странах — Японии, Англии и других.

---

## Научный подход к установлению ВЭС

Успешное планирование проектов по использованию энергии ветра требует хорошего знания ветрового режима в той или иной

местности. Для оценки рентабельности проекта необходимо рассчитать среднегодовой объем производства энергии ветродвигателем данного типа, а для этого, в свою очередь, требуется знать скорость и направление ветра на определенных высотах. Для обычных горизонтальных ветродвигателей — это высота оси ветроколеса над землей. Поскольку энергия ветра пропорциональна кубу (третьей степени) его скорости, точность оценки средней скорости ветра должна быть очень высокой. Ведь при изменении этой величины погрешность в 10% может привести к отклонению среднего значения расчетной выработки энергии примерно на 30%, что существенно затрудняет экономические прогнозы. Это, кстати, единственная из немногих существенных ошибок, допускаемых при установке ВЭС. Поэтому совершенно очевидно, что вопрос о доступности и качестве данных является очень серьезным и важным.

Объем потребляемой энергии и структура потребления, т.е. его изменчивость во времени, имеют большое значение при рассмотрении вопроса о целесообразности установки одного или нескольких высокопроизводительных ветродвигателей или обычной силовой установки. Существует значительное различие между гибридной системой и ветроустановками, подключенными к сети энергосистемы. Если ветродвигатели осуществляют подачу энергии в систему, то предварительный анализ должен включать изучение эксплуатационных качеств систем различного типа. То есть необходимо знание электрических сетей и трансформаторных подстанций, находящихся на местности, где собираются устанавливать ВЭС.

Если ветровой режим достаточно благоприятен, то изучаются характеристики предполагаемой ветроэнергетической системы, чтобы оценить рентабельность проекта.

Когда ветродвигатели функционируют в рамках центральной сети, скорость оборотов турбины, а также частота генераторов переменного тока машины поддерживаются на постоянном уровне с помощью гораздо более мощных обычных генераторов, подключенных к сети. Принципиальное назначение сетевых ветродвигателей заключается в снижении нагрузки на обычные генераторы: экономия топлива на ТЭС, снижение потребности в аккумулировании воды на ГЭС и т.д.

Когда же доля энергии, произведенной ветродвигателями, становится сопоставимой с объемом энергии, вырабатываемой обыч-

ными генераторами, возникают проблемы, связанные с регулированием частоты системы. Но это отдельная тема для разговора.

Ветроэнергетические системы можно подключать к энергосети больших городов или использовать в отдаленных районах для их автономного энергоснабжения.

Современные ветровые агрегаты новых типов практически не нуждаются в привычном эксплуатационном персонале — они включаются и работают автоматически. Почти все узлы машин стандартны и поставляются в комплектном исполнении. Стоимость строительной части установок составляет около 10%. Поэтому сроки возведения установок и количество рабочих, необходимых для монтажа, минимальны. Практически машину мощностью 1000 кВт бригада из 10 рабочих сможет собрать и подготовить к пуску в течение месяца.

Конечно, ветер изменчив, и массовое строительство ветряков сделает необходимым создание в энергосистеме аккумулирующих (тепловых, электромагнитных или иных) систем. Однако примечательно, что энергия ветра и потребность в энергии (нагрузка системы) в течение года изменяются синхронно! В летний период, когда ветры слабы, требуется минимальная мощность в системе. В этот период можно ремонтировать, заменять и, при необходимости, добавлять в систему ветроагрегаты.

Ветроэнергетические установки новых типов имеют небольшую материалоемкость, высокую заводскую готовность, допускают полную автоматизацию, требуют минимального отвода земли на пустырях, в степях, долинах, где ветры не способствуют другим видам деятельности, а также на вершинах гор и холмов. При развитии электросетей это позволяет ожидать, что себестоимость электроэнергии, получаемой на ветряках в указанных регионах, будет не выше средней существующей себестоимости. Мощность устанавливаемых ветряков зависит, как мы уже писали, от хозяйственных потребностей.

Благодаря усилиям энтузиастов за последние несколько лет были разработаны несколько проектов закона «О поддержке возобновляемых источников энергии». Были сделаны несколько попыток провести эти законопроекты через Государственную Думу (один из вариантов был одобрен Советом Федерации, но на него президентом было наложено вето).

Однако, в ноябре 2007 года все-таки первые шаги были предприняты: были приняты поправки в федеральный закон «Об электроэнергетике», в некоторой степени отражающие ряд основных положений, касающихся поддержки возобновляемых источников энергии<sup>1</sup>.

---

### **Автономное энергоснабжение и энергосбережение в Республике Алтай на базе НВИЭ**

Основу экономики Республики Алтай составляют сельское хозяйство, туристический бизнес, и частично перерабатывающая промышленность.

Конечно, можно утверждать, что оптимальным решением является централизованная электрификация. Однако с этим можно поспорить. Централизованная электрификация, как любая экономическая деятельность, хороша при условии достаточной рентабельности или же при существенной поддержке со стороны законодательства, исполнительной власти, государственного бюджета различного уровня. Ведь строительство линий электропередач, тем более в условиях сложного горного рельефа, — это достаточно дорогое удовольствие. Кроме того, чем протяженнее линии электропередач, тем больше в них потери, как коммерческие, так и некоммерческие, или, как говорят энергетики, «потери на корону»<sup>2</sup>.

Животноводство, как традиционный вид деятельности, в течение многих тысячелетий было отгонным и в значительной степени определяло уклад жизни, менталитет народов, населяющих эти земли, а также специфику расселения различных групп по территории Алтая.

Поэтому сохранение этого вида животноводства имеет не только экономическое, но и социальное, политическое и, — как ни странно бы это звучало, — экологическое значение. Ведь сохранение самобытности, налаженных взаимоотношений с природой —

---

<sup>1</sup> Выдержки из поправок в ФЗ «Об электроэнергетике» см. Приложение.

<sup>2</sup> Корона электрическая — одна из форм электрического разряда в газах, называемая также коронным разрядом. Коронный разряд приводит к значительным потерям энергии. (См. Советский энциклопедический словарь, Справочная книжка энергетика и т.п.).

основа социальной стабильности, экологической, экономической и прочих видов безопасности.

И это вовсе не призыв к сохранению печного отопления, как основы теплоснабжения, или использования лучин для освещения. Современное развитие цивилизации позволяет животноводам, пчеловодам, служителям кордонов и т.д. пользоваться достижениями научно-технического прогресса, сводя вероятность ущерба от этого самого прогресса к минимуму, а в ряде случаев исключая ущерб вообще.

Ориентация руководства региона на развитие туристической сферы экономики также способствует созданию собственной базы генерирующих мощностей на основе собственных возобновляемых источников энергии. Наверное, заявление о том, что ветер или солнце является «собственным» энергоисточником, звучит несколько необычно, но для их «доставки» на место использования точно не нужно тратить бюджетные средства.

Поэтому сегодня все больше возникает ситуаций, когда нужно искать альтернативные решения с использованием имеющихся потенциальных энергетических ресурсов в первую очередь — возобновляемых.

Республика Алтай обладает огромным возобновляемым энергетическим потенциалом. Например, по количеству часов солнечного сияния Чуйская долина является чемпионом России, экономический ветроэнергетический потенциал региона оценивается более чем в 2 млрд. кВт•ч возможной годовой выработки электроэнергии, а стойловое содержание скота в зимние месяцы создает условия для использования биогазовых энергоустановок.

Оборудование для автономного энергообеспечения производится отечественными предприятиями серийно. В конце настоящего издания приведен перечень (по состоянию на момент публикации) российских предприятий, производящих ветроустановки, а также сопутствующее оборудование.

---

---

# Часть II

---

---

---

## Энергия ветра: немного теории

Ветер — ресурс капризный: налетел, по листочкам пробежал, кепку сорвал, окно распахнул — и нет его. Как тут энергию получать? Вот и первая ошибка: не там мы меряем скорость ветра, ведь ветроколесо будет располагаться не на уровне нашего окна, а, как минимум, на высоте не ниже 10–15 м.

Как же определить скорость ветра? Как оценить ветропотенциал?

### Семь раз отмерь...

Вопрос о том, где ставить ветроустановку, какой высоты должна быть ее мачта, какой мощности вам нужны будут ветроагрегаты, на каком удалении от жилья и различных уязвимых природных объектов можно расположить ветропарк — все эти вопросы необходимо тщательно изучить до начала монтажа ветроустановок. Хотя ветряки достаточно мобильны (их можно, при желании, переустановить в другом месте), все-таки лучше сэкономить силы, средства и время и не выбирать место установки экспериментально, а приложить некоторые усилия для выбора оптимального места размещения ветроэлектростанции.

На разных высотах ветер характеризуется разными скоростями и направлением.

Скорость ветра, как пишут в учебниках, выражается длиной пути, который проходят частицы движущихся воздушных масс за 1 секунду. Она измеряется в метрах в секунду (м/сек). Скорость ветра является одной из основных характеристик воздушного потока, так как определяет его энергию. Чем больше скорость ветра, тем больше и энергия, заключенная в потоке.

Для измерения скорости ветра применяются специальные приборы: от простейших флюгеров, которые можно изготовить самостоятельно, до сложных анемометров, выпускаемых предприятиями точной техники.

Простейшим прибором для измерения скорости ветра является флюгер Вильда, изображенный на рисунке 1. Его можно изготовить собственными силами<sup>1</sup>. Устройство флюгера следующее: к штоку 1 жестко прикреплена флюгарка 2, которая при изменении направления ветра устанавливает плоскость металлической пластинки 3 перпендикулярно направлению потока.

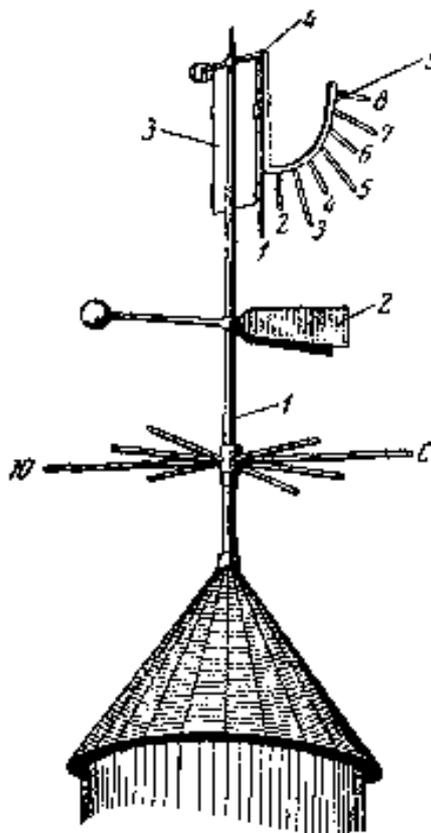


рис. 1.

Флюгер Вильда:

1 — шток, 2 — флюгарка, 3 — пластинка, 4 — горизонтальная ось, 5 — сектор.

Пластинка имеет возможность качаться относительно горизонтальной оси 4.

Угол отклонения пластинки зависит от величины давления на нее ветрового потока. Этот угол тем больше, чем выше скорость ветра. Пластинка имеет размеры 150x300 мм и может быть изготовлена весом в 200 г (для районов с небольшими среднегодовыми скоростями ветра) или 800 г (для районов, где среднегодовые ско-

<sup>1</sup> Подробно об этом см. Приложение.

рости ветра составляют 6 м в секунду и выше и часто дуют ураганные и буревые ветры).

Более точно скорость ветра можно определить с помощью анемометра. При отсутствии флюгера Вильда или анемометра приближенное определение средней скорости ветра может быть сделано по различным внешним признакам на местности по приведенной ниже таблице.

**Таблица для определения скорости ветра по внешним признакам<sup>1</sup>**

Характер ветра	Скорость ветра, м/сек.	Признаки
Очень легкий	0–1	Движение воздуха незаметно
	1–3	Движение воздуха едва заметно, шелестят листья.
Легкий	4–5	Ветки качаются. Дым плавает в воздухе, сохраняя очертания
Умеренный	6–7	Сучья гнутся. Ветер «слизывает» дым с трубы и быстро перемешивает его в однородную массу. Поднимается пыль.
Свежий	8–9	Верхушки деревьев шумят, качаются.
Очень свежий	10–11	Тонкие стволы деревьев гнутся. Завывание ветра в трубах.
Сильный	12–14	Листья срываются. Песок поднимается, на стоячей воде поднимаются волны с опрокидыванием гребней.
Резкий	15–16	Тонкие сучья ломаются, затруднено передвижение против ветра.
Буря	17–19	Толстые сучья ломаются, сдвигаются с места черепицы на крышах.
Сильная буря	20–23	Тонкие деревья ломаются.

При определении ветрового потенциала нужно также помнить, что существенную роль в этом вопросе играют природные объекты (горы, возвышенности, лес, отдельно стоящие деревья и проч.), а также здания и сооружения, расположенные на пути движения воздушных масс.

<sup>1</sup> Здесь нужно обратить внимание, что существуют самые различные системы градации скоростей ветра. Однако при серьезном подходе ориентироваться следует в первую очередь на официальные критерии, применяемые в метеорологии (см. Наставления по краткосрочным прогнозам погоды для общего пользования. — СПб, 1996).

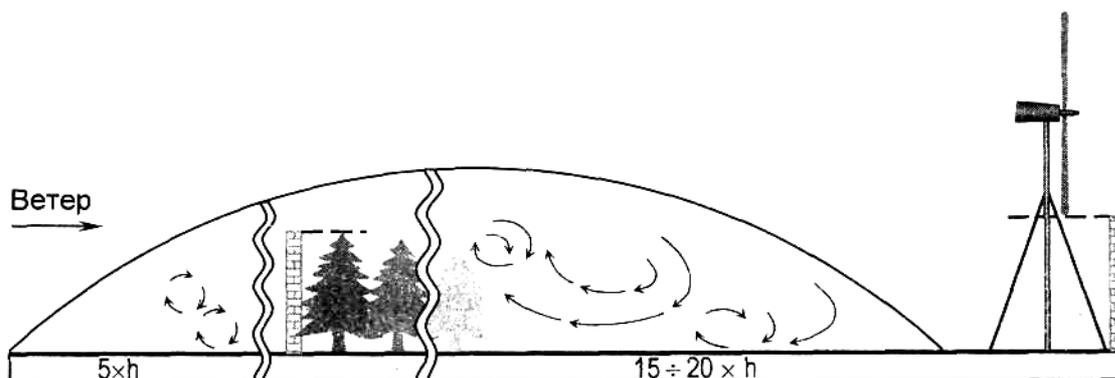


рис. 2.  
Размещение ветроустановок  
с учетом возможности их затенения строениями или деревьями

Также расположение ветростанции будет зависеть от тех рекомендаций, которые дадут биологи, гидрологи, почвоведы, геологи и, конечно, метеорологи. Самое разумное здесь — обратиться в региональный метеоцентр за справкой по среднегодовой, среднемесячной скорости ветра, повторяемости скоростей ветра, повторяемости направлений ветра и т.д. — иными словами, чтобы вам предоставили розу ветров для данной конкретной территории.

Например, для Горного Алтая не характерны сильные и частые ветры (за исключением перевалов и ряда межгорных котловин и высокогорных степей). Поэтому исходить в данном случае следует из того, что рассчитывать на высокие промышленные скорости (6–8 м/с) можно только при тщательном изучении конкретной местности. В то же время нужно отметить, что в Горном Алтае ветроэнергетический потенциал имеет места локальной концентрации по долинам рек. В частности, следует отметить участок долины реки Чуи между Чуйской и Курайской степями, долину реки Чулышман и т.д.

Но это совершенно не означает, что ветроэнергетика в горах Алтая не имеет никаких перспектив. Ветроэнергетический потенциал Республики Алтай еще подлежит детальному изучению. Дело в том, что сегодня ветер является настолько привлекательным энергоресурсом, что разработаны ветротурбины, работающие даже на сквозняках<sup>1</sup>.

Так, например, маленькую и симпатичную ветровую турбину, рассчитанную на большие города, показала американская компания Aero Vironment на фестивале Wired NextFest, прошедшем в 2006 году Нью-Йорке.

<sup>1</sup> <http://www.membrana.ru/lenta/?6509>.

Новинка называется Architectural Wind и от своих сородичей-ветряков отличается, прежде всего, симпатичным дизайном и компактностью. А ещё — необычной концепцией применения: турбину предлагается устанавливать на парапете здания, а не посреди крыши. Она ловит потоки, которые гуляют вдоль стен и поднимаются вверх. В современных городах с плотной застройкой такие «сквозняки» иногда приводят к 30-процентному увеличению производства энергии.

Над Architectural Wind раскинулся защитный тент, а перед ней — решётка, защищающая птиц от столкновения с лопастями. Высота всей конструкции — 1,98 метра, масса — 27,2 килограмма.

Чтобы устройство заработало, требуется сравнительно слабый ветер — скоростью всего 3,1 метра в секунду. За месяц одна такая установка вырабатывает в среднем 55 кВт•ч.

О цене новинки пока ничего не сообщается, однако предыдущие версии турбины, несколько иной формы и размеров, уже работают на крышах ряда зданий.

И хотя эти разработки пока только в начале массового производства, они свидетельствуют о том, что невысокие среднегодовые скорости ветра совершенно не являются препятствием для развития ветроэнергетики.

### **Тише едешь...**

Специфика ветра как источника энергоресурса, а именно — перепады скоростей, наличие мест, где скорости невелики, а централизованное энергоснабжение дорогостояще, — все это изначально способствовало тому, что разрабатывались самые разные конструкции ветроустановок, в том числе и с расчетом на невысокие скорости ветра.

Именно этот фактор еще на заре масштабного развития энергетики во многом определил деление ветроустановок на быстроходные и тихоходные. Связано такое деление, повторим, с одной стороны, с потребностью уловить невысокие скорости ветра и получать на этих скоростях энергию, а с другой, — с количеством лопастей у данной конкретной установки, ведь чем больше лопастей у ветроустановки, тем при меньшей скорости ветра начинается его движение.

С другой стороны, чем меньше число лопастей, тем, при прочих равных условиях, ветроколесо имеет большее число оборотов. Поэтому малоллопастные ветродвигатели называются быстроходными, что является одним из серьезных преимуществ, так как делают более простой передачу мощности, например, к электрическому генератору. Кроме того, быстроходные ветродвигатели более легкие и имеют более высокий коэффициент использования энергии ветра.

Однако, быстроходные ветродвигатели имеют существенный недостаток: их начальный момент трогания, то есть вращающий момент, развиваемый на неподвижном ветроколесе, при одинаковых диаметрах ветроколес и скорости ветра в несколько раз меньше, чем у тихоходных ветроколес. Иными словами, чем меньше число лопастей, то есть чем быстроходнее ветроколесо, тем выше должна быть скорость ветра для получения стабильной работы, эффективной зарядки аккумуляторов или подачи качественной энергии в сеть. Соответственно, чем больше лопастей, тем меньше требуется скорость ветра, для начала эффективной работы ветродвигателя.

К недостаткам тихоходных (многолопастных) ветроколес можно отнести то, что они не так легки, как быстроходные (малоллопастные) ветроколеса, а также меньший коэффициент использования энергии ветра. В то же время нужно отметить, что преимущества и недостатки определяются в первую очередь тем, какую задачу предполагается решать с помощью ввода в эксплуатацию ветроэлектростанции.

## **Устройство ветроустановок**

К основным компонентам ветроустановок независимо от вида относятся: ветроколесо (ротор), генератор, мультипликатор, башня, основание (фундамент).

### **Ветроколесо (ротор)**

преобразует энергию набегающего ветрового потока в механическую энергию вращения оси турбины. Диаметр ветроколеса колеблется от нескольких метров до десятков метров. Частота вращения составляет от 15 до 100 об/мин. Для соединения с электросетью частота вращения ветроколеса должна быть постоянной. В противном случае, при переменной частоте (для автономных электросистем) используется выпрямитель и инвертор. Переменная частота

допустима и в том случае, когда ветроустановки используются для систем теплоснабжения, а также для водоснабжения и другой механической работы.

### **Мультипликатор**

— промежуточное звено между ветроколесом и электрогенератором, которое повышает частоту вращения вала ветроколеса и обеспечивает согласование с оборотами генератора. Исключение составляют ВЭУ малой мощности со специальными генераторами на постоянных магнитах; в таких ветроустановках мультипликаторы обычно не применяются.

### **Башня**

— конструкция, на которой устанавливается ветроколесо, иногда ее укрепляют стальными стяжками. У ВЭУ большой мощности высота башни достигает 75 м. Обычно это цилиндрические мачты, хотя применяются и решетчатые башни.

### **Основание (фундамент)**

предназначено для предотвращения падения установки при сильном ветре.

Кроме того, для защиты от поломок при сильных порывах ветра и ураганах почти все ВЭУ большой мощности автоматически останавливаются, если скорость ветра превышает предельную величину. Для целей обслуживания они должны оснащаться тормозным устройством. Горизонтально-осевые ВЭУ имеют в своем составе устройство, обеспечивающее ориентацию ветроколеса по направлению ветра.

## **Классификация ветроустановок**

### **Какие они бывают? Огласите весь список, пожалуйста...**

Существуют различные критерии для классификации ветродвигателей<sup>1</sup>: по виду вырабатываемой энергии, по мощности, по областям применения, по назначению, по признаку работы с постоянной

---

<sup>1</sup> ГОСТ Р 51990–2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация. Дата введения 2003–07–01.

или переменной частотой вращения ветроколеса, по способам управления, по структуре системы генерирования энергии.

Что касается вырабатываемой энергии, то ветроустановки подразделяются на механические и электрические. Механические ветроустановки используются для орошения, для водоснабжения (подъем воды, откачка воды, осушение и другие виды водоиспользования), а также исторически в качестве мельниц.

Электрические ветроустановки, как следует из их названия, предназначены для выработки электроэнергии. Они в свою очередь подразделяются на ветроэнергоустановки постоянного и переменного тока.

Главные признаки для классификации ветроэнергетических установок — это геометрия ветроколеса и его положение относительно направления ветра. При взаимодействии ветра с ветроколесом возникают:

- сила сопротивления, параллельная вектору скорости набегающего потока;
- подъемная сила, приложенная к лопасти ветроколеса, перпендикулярная силе сопротивления (сравните: только при горизонтальном движении планера подъемная сила, действующая на его крыло, направлена вверх);
- завихрение, закрутка ветрового потока, обтекающего лопасти ветроколеса;
- турбулизация потока, т.е. возникновение хаотических по величине и направлению возмущений скорости воздуха в ветровом потоке; турбулентность возникает как за колесом, так и перед ним, в результате лопасть часто оказывается в потоке, турбулизованном другими лопастями;
- препятствие для набегающего потока; это свойство ветроколеса характеризуется его параметром, называемым геометрическим заполнением ветроколеса; он равен отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой ими площади; так, например, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное.

Ветроэнергетические установки классифицируют по следующим признакам:

1. По ориентации оси вращения ветроколеса: вертикальная (перпендикулярно воздушному потоку, рис. 3) или горизонтальная (параллельно воздушному потоку, рис. 4, 5). В первом случае установку называют вертикально-осевой, во втором — горизонтально-осевой.

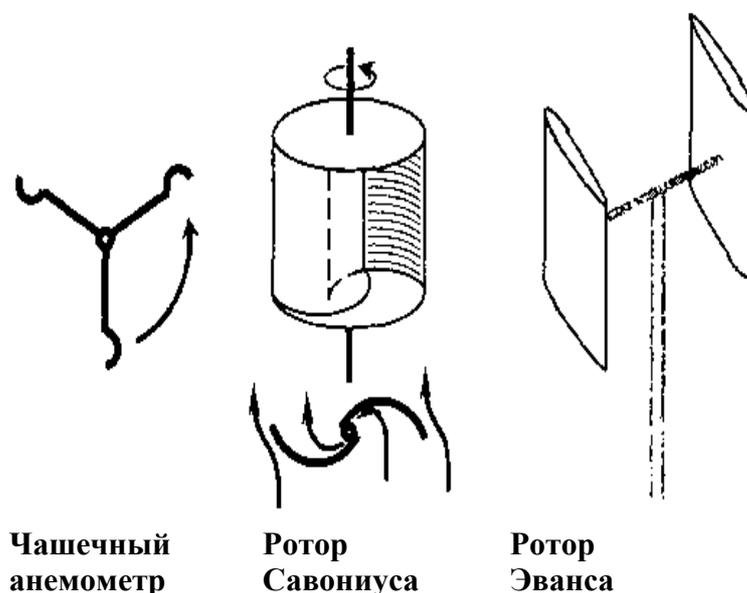


рис. 3. Ветроколеса с вертикальной осью

2. По природе вращающей силы: сила сопротивления или подъемная сила. Установки, использующие силу сопротивления (драг-машины), как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра, а установки, использующие подъемную силу (лифт-машины), имеют линейную скорость концов лопастей, существенно большую скорости ветра — здесь та же ситуация с судами типа яхт, которые могут передвигаться быстрее ветра.

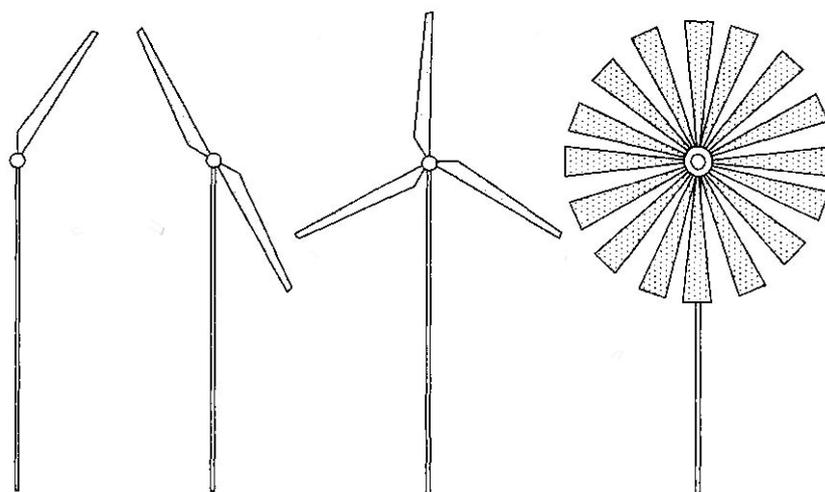


рис. 4. Ветроколеса с горизонтальной осью: одно-, двух-, трех- и многолопасные

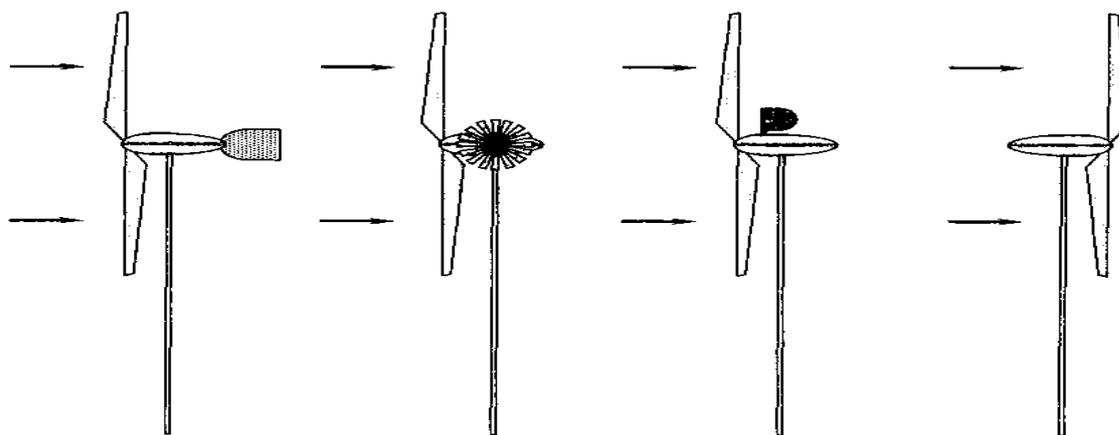


рис. 5. Способы ориентации ветроколес с горизонтальной осью: стабилизатором, дополнительным боковым колесом, серводвигателем, самоориентацией

3. По величине геометрического заполнения ветроколеса: для большинства установок эта величина определяется числом лопастей. ВЭУ с большим геометрическим заполнением развивают значительную мощность при относительно слабом ветре, и максимум мощности достигается при относительно небольших оборотах колеса. ВЭУ с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах и дольше выходят на этот режим. Поэтому первые установки обычно используются для работы мельниц и водяных насосов при подъеме воды из колодцев и скважин — они даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые — в качестве электрогенераторов, роторы которых должны вращаться с большой частотой. Кроме того, тихоходные (многолопастные) ВЭУ с успехом могут быть использованы для отопления, так как в этом случае можно пренебречь частотой вращения и качеством сигнала, поступающего с ветроустановки.

4. По назначению ветроэнергетической установки: непосредственное выполнение механической работы или производство электроэнергии. В последнем случае ВЭУ, включающую в себя электрогенератор, нередко называют ВЭГ (ветроэлектрогенератором) или аэрогенератором.

5. По наличию или отсутствию устройств стабилизации частоты вращения ветроколеса: наличие подобного устройства позволяет напрямую подключать ветроэлектрогенератор к мощной энергосистеме, однако КПД такой установки ниже.

6. По наличию или отсутствию промежуточного между ветроколесом и электрогенератором преобразователя энергии, играющего

роль буфера. Наличие такого буфера позволяет уменьшить последствия флуктуации<sup>1</sup> частоты вращения ветроколеса и эффективнее использовать энергию ветра и мощность ветроколеса. Существуют также частично развязанные схемы соединения колеса с генератором, называемые мягкосопряженными. Нежесткое соединение совместно с инерцией ветроколеса уменьшает влияние флуктуации скорости ветра на выходные параметры электрогенератора. Это может быть достигнуто, в частности, с помощью подпружиненных шарниров, соединяющих лопасти с осью ветроколеса.

### **Ветроэлектрогенераторы с горизонтальной осью**

Основной вращающей силой у ветроколес этого типа является подъемная сила. В рабочем состоянии ветроколесо может располагаться относительно ветра перед опорной башней или за ней. При переднем расположении ветроколесо должно иметь аэродинамический стабилизатор или какое-либо другое устройство, удерживающее его в рабочем положении. При заднем расположении башня частично затеняет ветроколесо и турбулизирует набегающий поток воздуха, что снижает его КПД. При горизонтальном расположении оси на лопасти действуют циклические нагрузки, возникает повышенный шум, имеют место флуктуации выходных параметров ветроустановки. Направление ветра может довольно быстро изменяться, и ветроколесо должно четко отслеживать эти изменения. Поэтому в ВЭУ мощностью более 50 кВт для этой цели используются электрические серводвигатели.

В ветроэлектрогенераторах обычно используются двух- и трехлопастные ветроколеса, последние отличаются плавным ходом. Электрогенератор и редуктор, соединяющий генератор с ветроколесом, расположены обычно наверху опорной башни в поворотной головке. В принципе, с точки зрения эксплуатационных моментов, их удобнее размещать внизу, но возникающие сложности передачи крутящего момента обесценивают преимущества такого размещения.

Многолопастные колеса, развивающие большой крутящий момент при слабом ветре, используются для перекачки воды и других целей, не требующих высокой частоты вращения ветрового колеса.

---

<sup>1</sup> Случайное отклонение от среднего значения.

Таблица 13

Параметры ветроэнергетических установок различной проектной мощности<sup>1</sup>

Класс ВЭУ	Мощность, кВт	Диаметр ветроколеса, м	Период вращения, с
Малые	10	6,4	0,3
	25	10	0,4
Средние	50	14	0,6
	100	20	0,9
	150	25	1,1
Большие	250	32	1,4
	500	49	2,1
	1000	64	3,1
Очень большие	2000	90	3,9
	300	ПО	4,8
	4000	130	5,7

### Ветроэлектрогенераторы с вертикальной осью

Ветроэлектрогенераторы с вертикальной осью вращения благодаря своей геометрии при любом направлении ветра всегда находятся в рабочем положении. Кроме того, такая схема позволяет только за счет удлинения вала установить редуктор с генераторами внизу башни.

Принципиальными недостатками таких установок являются:

- 1) большая подверженность их усталостным разрушениям из-за чаще возникающих автоколебательных процессов;
- 2) сильнее выраженная пульсация крутящего момента, приводящая к пульсациям выходных параметров генератора. Из-за этого подавляющее большинство ветроэлектрогенераторов выполнено по горизонтально-осевой схеме, хотя исследования различных типов вертикально-осевых установок продолжаются.

Наиболее распространенные типы вертикально-осевых установок следующие (рис. 3).

*Чашечный ротор (анемометр).* Ветроколесо этого типа вращается силой сопротивления. Форма чашеобразной лопасти обеспечивает практически линейную зависимость частоты вращения колеса от скорости ветра, поэтому чашечные роторы получили распро-

<sup>1</sup> при скорости ветра 12 м/с. Параметры рассчитаны для коэффициента мощности 30%, плотности воздуха 1,2 кг/м<sup>3</sup>, быстроходности Z=6.

странение в метеорологии для измерения скорости ветра (анемометрии).

*Ротор Савониуса.* Это ветроколесо также вращается силой сопротивления. Его лопасти выполнены из тонких изогнутых листов прямоугольной формы, так что отличаются простотой и дешевизной. Вращающий момент, как и в случае чашечных роторов, создается благодаря различному сопротивлению, оказываемому воздушному потоку вогнутой и выпуклой относительно него лопастями ротора. Из-за большого геометрического заполнения это ветроколесо обладает большим крутящим моментом и используется для перекачки воды.

*Ротор Эванса* и подобные. Вращающий момент создается подъемной силой, которая достигает максимума, когда лопасть с большой скоростью пересекает набегающий воздушный поток. Роторы такого типа используются в ветроэлектростанциях. Раскручиваться самостоятельно такие роторы, как правило, не могут, поэтому для их запуска обычно используется генератор, работающий в режиме двигателя. Лопасти ротора Эванса в аварийной ситуации (т.е. при слишком сильном ветре) и при управлении имеют возможность поворачиваться вокруг своей вертикальной оси.

## **Куда и сколько ставить будем?**

Место размещения и количество ветроустановок во многом зависит, как уже упоминалось, от тех задач, которые предстоит с их помощью решать. В то же время существуют определенные нормы и правила размещения ветроустановок, а также определения необходимой и возможной установленной мощности.

Как правило, выделяют две основные задачи, которые под силу решить с помощью ВЭС: 1) увеличить производство энергии за год, чтобы, например, уменьшить потребление других видов энергоресурсов; 2) обеспечить производство определенного минимума энергии даже при слабом ветре, что важно в автономных системах электроснабжения, а также для поддержания работы некоторых систем жизнеобеспечения, например, системы водоснабжения.

Сразу же заметим, что возможно и одновременное решение обеих задач, все зависит от заказчика, его знаний о возможностях ветроэнергетики, его финансовых возможностей, организационных способностей и других не менее важных обстоятельств.

Однако некоторые общие рекомендации можно дать независимо от этих обстоятельств.

Во-первых, место должно быть открытым, доступным для обслуживания, с достаточными по скорости, частоте и повторяемости ветрами. Кроме того, расположение ветроэлектростанции во многом будет зависеть от удаленности от потребителей. Ведь, с одной стороны, ВЭС хороши именно для автономного электроснабжения; а с другой, — при непродуманном расположении их экономическая эффективность может оказаться ниже, чем строительство, например, дополнительных линий электропередач.

Во-вторых, установка и размещение ВЭУ должны соответствовать действующим нормам и правилам (ГОСТам, СНиПам и т.п.). Одно из важнейших требований<sup>1</sup> — ВЭУ должны устанавливаться в стороне от традиционных путей перемещения перелетных птиц<sup>2</sup>.

В-третьих, нужно помнить, что при скорости ветра 20 м и выше большинство ветроустановок блокируются и останавливаются. Поэтому располагать ветроэлектростанцию в местах с частыми сильными ветрами<sup>3</sup> нежелательно.

Но все-таки самое главное — те задачи, которые вы хотите решить, создав ветроэнергетическую станцию.

Если у вас есть другие источники энергии (централизованное энергоснабжение, дизельная электростанция, локальная энергосистема, например, с солнечными модулями или микроГЭС и т.п.), то, проведя несложные расчеты, нужно определиться будет ли ваш ветропарк работать на электроснабжение, на отопление, на водоснабжение или же ветроустановки будут помогать вам решать какие-то другие задачи.

И уже от этого будет зависеть сколько, каких ветродвигателей вам требуется и где нужно их установить, чтобы решить поставленную задачу.

<sup>1</sup> ГОСТ Р 51991–2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Общие технические требования. Дата введения 2003–07–01.

<sup>2</sup> Кроме того, во избежание случаев гибели птиц, на эксплуатируемых ВЭУ должны быть установлены акустические маяки, отпугивающие птиц.

<sup>3</sup> Согласно «Наставлениям по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» (СПб, 1996) применяется следующая качественная характеристика ветра: 0–5 м/сек — слабый, 5–14 м/сек — умеренный, 15–24 м/сек — сильный, 25–32 м/сек — очень сильный, 33 и более — ураганный.

### **Энергогенерирующий комплекс: движение воздуха и воды**

Более 50 лет назад в книжке «Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках» одним из советских инженеров — Н.В. Красовским — были предложены ветроэлектрические станции, работающие совместно с ГЭС, расположенной на одной реке и имеющей водохранилище, способное аккумулировать сток и, до некоторой степени, его регулировать. Проведенные им расчеты показывают, что подобные станции могут быть весьма эффективными.

К установкам с гидроаккумулированием можно отнести также ВЭС, работающие параллельно с ГЭС. В последнем случае наличие мобильного автоматического регулирования мощности гидроагрегатов ГЭС позволяет экономить воду при работе ветростанции, воспринимающей на себя часть нагрузки и разгружающей гидростанцию. С другой стороны, совместная работа ВЭС и ГЭС дает возможность повысить гарантированную мощность комплекса при неизменном стоке реки или же повысить обеспеченность графика потребления при неизменной выработке ГЭС. В условиях значительных перепадов высот на небольших реках сочетание ветроустановок и малых ГЭС является очень перспективным направлением для решения энергетических проблем горного региона.

К недостаткам ВЭС с гидроаккумулированием следует отнести необходимость значительных капиталовложений на сооружение водохранилища<sup>1</sup>, линий электропередач, систем диспетчеризации и т.п.

Большое значение имеют гидрогеологические и топографические условия района сооружения гидроаккумулирующих станций. С увеличением напора необходимая емкость аккумулирующих бассейнов и величина расхода воды соответственно уменьшается. Например, гористая местность с крутыми склонами, обеспечивающая

---

<sup>1</sup> Здесь нужно отметить, что гидро-ветрокомплексы целесообразно рассматривать только в том случае, когда на водотоке сооружается ГЭС с контррегулятором (каскад), так как только в это случае можно обеспечить естественный режим стока в русле реки ниже каскада.

получение больших напоров при коротких трубопроводах, является наиболее подходящей по экономическим условиям для сооружения гидроаккумулирующих установок. Однако при этом нельзя забывать, что необходимыми условиями является наличие хороших ветровых условий в районе и удобное расположение ветроустановок.

Конечно, такое сочетание гидроветроресурсов встречается нечасто и, как правило, именно в отдаленных горных районах.

Подобные гибридные установки имеют ряд преимуществ. Во-первых, сезонная динамика потребления электроэнергии совпадает с сезонными изменениями уровня воды и скоростей ветров. Во-вторых, в зимние месяцы, особенно на смене дня и ночи, ветер набирает силу, по времени это совпадает с суточным максимумом потребления электроэнергии.

Проще говоря, идея гидро-ветро-энергогенерирующего комплекса заключается в том, что в летние месяцы при большой воде ГЭС работают на полную мощность, а ВЭС на минимуме. Зимой — наоборот. В пределах суток, в часы максимальной скорости ветра ВЭС несут полную мощность, а ГЭС, по диспетчерской программе, могут снижать мощность и, соответственно, расход воды через турбины. В этом режиме водохранилище ГЭС накапливается. При снижении скорости ветра нагрузку «подхватывают» высококомобильные ГЭС, расходуя накопленный запас воды. Мощность комплекса сохраняется.

Для Горного Алтая особо перспективным можно считать комплекс в составе каскада малых ГЭС на реке Чуя и системы ВЭС на участке долины реки Чуя между Чуйской и Курайской степями. По предварительной оценке этот комплекс способен вырабатывать до 500 млн.кВт•ч в год. Но этот проект, как и любой другой, требует дополнительного изучения и доработки.

---

## Использование энергии ветра на ТЭЦ<sup>2</sup>

Использование нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) становится, судя по всему, глобальной тенденцией: в последнее время рынок установок на НВИЭ испытывает бурный рост во всем мире. С широкомасштабным развитием НВИЭ также связывают грядущее наступление эры водородной энергетики, основанной на электролизе воды и не использующей топливные ресурсы планеты. Поэтому многие страны стимулируют использование НВИЭ, а ведущие мировые энергокомпании, стремясь диверсифицировать свой бизнес, вкладывают большие средства в развитие технологий НВИЭ.

В настоящее время в мире из НВИЭ наиболее высокими темпами развивается ветроэнергетика: установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) к началу 2005 г. превысила 47,5 ГВт. Прирост мощностей (ВЭС) достигает 24–27% в год, что составляет почти 10 ГВт на более чем \$10 млрд. Благодаря государственной поддержке стоимость ветроэнергии за последние 20 лет снизилась почти на порядок — до 3–6 цент/кВт•ч (\$8,3–16,7/ГДж). К сожалению, Россия не проявляет активности в данной области, хотя наиболее перспективные для развития ветроэнергетики районы расположены именно в РФ — это прибрежные районы Крайнего Севера и Дальнего Востока и другие территории. Здесь, во-первых, очень дорогое топливо (до 15–20 тыс. руб./т дизельного топлива или \$12–17/ГДж), завозимое раз в год и, во-вторых, высокий ветроэнергетический потенциал, сезонные изменения величины которого происходят практически синхронно с колебаниями энергопотребления, причем в этих районах ветер является практически единственным доступным

---

<sup>1</sup> С.В. Жарков, кандидат технических наук, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск.

<sup>2</sup> [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=733](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=733)

НВИЭ для замещения топлива. Однако эти районы характеризуются также тем, что здесь:

— энергосистемы локальные (небольшие), что предъявляет высокие требования к стабильности мощности энергоисточников;

— потребности в тепле в несколько раз превосходят потребности в электроэнергии, что является основой для широкого применения ТЭЦ, которые наиболее эффективны именно при дорогом топливе;

— суровый климат, трудности с доставкой запчастей и отсутствие квалифицированного персонала вынуждают применять наиболее простые (и, следовательно, наиболее надежные) схемы и конструкции использования энергии ветра.

Таким образом, обычная схема прямого включения ВЭС в сеть здесь неприемлема, поскольку:

— выпадает наиболее топливоемкий сектор энергоснабжения — теплоснабжение;

— нужно будет сложно и дорого решать проблемы качества генерируемой ВЭС электроэнергии и резервирования мощности при том, что отработанной технологии ВЭС, в том числе поддержания необходимого качества производимой ими электроэнергии, в РФ нет. К тому же, параллельная работа ВЭС и ТЭЦ практически невозможна ввиду низкой маневренности последних.

В связи с этим представляется перспективным объединение ВЭС и ТЭЦ в едином комплексе. Предлагается, в отличие от зарубежного опыта, не включать ВЭС непосредственно в сеть электроэнергетических систем (ЭЭС), а использовать электроэнергию ВЭС для прямого замещения топлива в тепловых циклах газотурбинных (парогазовых) установок — ГТУ(ПГУ): посредством электронагревателя (ТЭНа), установленного в тракте ГТУ перед камерой сгорания топлива (КС), подогревать воздух, поступающий в КС. Соответственно снизится потребление топлива, изменением расхода которого поддерживается заданная температура газов на входе в турбину (рис. 1, 2).

Таким образом, посредством теплового цикла ГТУ(ПГУ) развязывается электрическая связь ВЭС с сетью, устраняется негативное влияние ВЭС на электроэнергетическую систему и, соответственно, исключаются проблемы обеспечения качества электроэнергии и оперативного резервирования мощности ВЭС в ЭЭС. Вместо ряда ветроэлектрических установок, включенных в энергосистему и

снижающих ее устойчивость, появляется относительно крупная ТЭС, ее повышающая. За счет совместного использования теплофикации и энергии ветра схема ГТУ(ТЭЦ)+ВЭС может экономить до 40% топлива по сравнению с ветро-дизельной схемой раздельного энергоснабжения. Кроме того, появляется возможность снижения стоимости ВЭС за счет перехода на переменную частоту вращения ветроколес (без применения инверторов, т.е. без ненужного в данном случае удорожания) и максимального упрощения электрической схемы, системы управления и конструкции ВЭУ, так как в данном случае генераторы работают на активную нагрузку и требования к качеству электроэнергии (в том числе по величине напряжения) предельно низки. Поэтому экономическая эффективность использования энергии ветра по схеме ГТУ(ПГУ)+ВЭС для некоторых районов достижима уже в настоящее время и будет возрастать с расширением зоны эффективности по мере удорожания топлива, а также совершенствования технологии ВЭС и увеличения масштабов их использования. Представляется целесообразным уже на начальном этапе наладить производство простых по конструкции отечественных, учитывая возможные масштабы их применения как в стране, так и за рубежом, а также невысокую стоимость рабочей силы и материалов в РФ.

Объединение ВЭС, ГТУ(ПГУ)–ТЭЦ и котельных на базе локальных сетей нестабилизированной электроэнергии ВЭС дает возможность максимального вытеснения органического топлива в энергобалансах отдаленных районов за счет включения ветра в спектр используемых на ГТУ и котельных энергоресурсов. Ветер, как известно, второй после наружной температуры воздуха климатический параметр, определяющий объемы теплопотребления. Применение ВЭУ позволит компенсировать повышенные теплопотери, обеспечив именно в ветреные периоды пиковое поступление энергии на нужды отопления. Поскольку для этих районов характерны высокие среднегодовые скорости ветра (до 7–9 м/с), то с учетом факта совпадения сезонных колебаний ветрового потенциала с изменениями энергопотребления такая схема может экономить более 50% годового расхода топлива на энергоснабжение.

Актуальность внедрения такой схемы возрастает в связи с принятыми Россией по Киотскому протоколу обязательствами по ограничению потребления топлива, а также существующей необходимостью замены в удаленных районах устаревших и изношенных ди-

зельных электростанций и части котельных современными небольшими ГТУ–ТЭЦ, которые могли бы сразу комплектоваться ВЭС. ГТУ здесь более привлекательны для использования на ТЭЦ, чем дизельные двигатели, поскольку допускают большую свободу в выборе температурного графика тепловой сети. Причем из-за относительно слабого влияния КПД ГТУ на топливную экономичность комплекса ГТУ(ПГУ)+ВЭС может быть целесообразен переход на пониженную температуру газа на входе в турбину ради повышения ресурса и надежности работы ГТУ. В течение всего срока эксплуатации ГТУ(ПГУ)+ВЭС морально не устареют относительно непрерывно совершенствуемых чисто топливных ГТУ(ПГУ), так как здесь удельный расход топлива на производство электроэнергии всегда будет ниже: при необходимости для уменьшения расхода топлива можно установить дополнительную современную ВЭУ. Так, например, 50%-ное замещение топлива электроэнергией ВЭС энергетически даже выгоднее, чем двукратное увеличение КПД ГТУ, поскольку при одинаковом расходе топлива в данном случае выше тепловая мощность ГТУ(ПГУ)–ТЭЦ и электрическая мощность ПГУ–ТЭЦ.

Возможно применение технологии и на паротурбинных ТЭЦ: как на паротурбинных установках (ПТУ) с водород-кислородными пароперегревателями (ВКПП) (рис. 3), так и с водород-кислородными парогенераторами (рис. 4). Возможна также работа ПТУ без применения ВКПП. Последняя схема наиболее проста, поэтому привлекательна для использования на начальном этапе освоения технологии. Например, мощность ТЭНов ПТУ в ПГУ (рис. 2) составляет всего несколько процентов от мощности ТЭНа ГТУ, поэтому можно рассчитывать на практически 100%-ную обеспеченность ТЭНов ПТУ в течение года электроэнергией от крупной ВЭС, предназначенной для работы на ТЭЦ и котельные. При этом возможно повышение КПД и упрощение тепловой схемы паротурбинной части ПГУ.

Комплексы ГТУ(ПГУ, ПТУ)+ВЭС позволяют объединить достижения традиционной энергетики (газотурбинная и парогазовая технологии, высокотемпературные ПТУ, теплофикация) и нетрадиционной (ВЭС), а не противопоставлять их друг другу, как это обычно происходит. При этом снимаются технологические ограничения на развитие ветроэнергетики: установленная мощность ВЭС может превосходить суммарную установленную мощность электро-

станций и котельных в системах энергоснабжения. Таким образом, развитие ветроэнергетики становится независимым от ЭЭС, владельцы ВЭС и операторы энергетических сетей не имеют точек соприкосновения, а коммерческая эффективность ВЭС не зависит от ограничений, тарифов и режимов ЭЭС, и, следовательно, не требуется никаких специальных законопроектов, регламентирующих взаимоотношения ВЭС и ЭЭС. Благодаря локальному влиянию ВЭС при использовании схем ГТУ(ПГУ)+ВЭС существует возможность четко оценить реальные энергетический и экономический выигрыши (или потери) от использования ВЭС, в то время как при прямом включении ВЭС в сеть, что чаще всего и практикуется, все проблемы применения ВЭС переносятся на энергосистему, при этом их влияние на экономичность ЭЭС в целом трудно оценить, и обычно оно никак не учитывается.

Внедрение предлагаемой технологии может способствовать расширению использования энергии ветра, повышению эффективности использования топлива и плавному переходу к более современным, экологически менее разрушительным видам энергетики.

## Иллюстрации

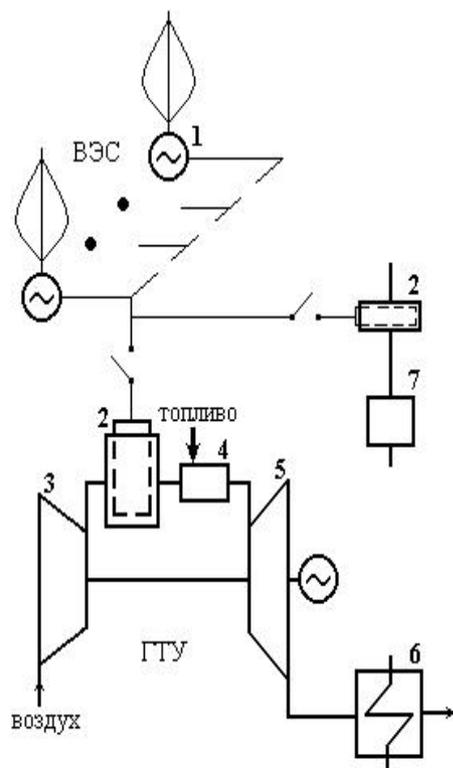


рис. 1

Схема использования нестабилизированной электроэнергии ВЭС:

- 1 — ветроэлектрическая установка;
- 2 — электронагреватель;
- 3 — компрессор;
- 4 — камера сгорания;
- 5 — газовая турбина;
- 6 — подогреватель сетевой воды или паровой котел;
- 7 — котельная.

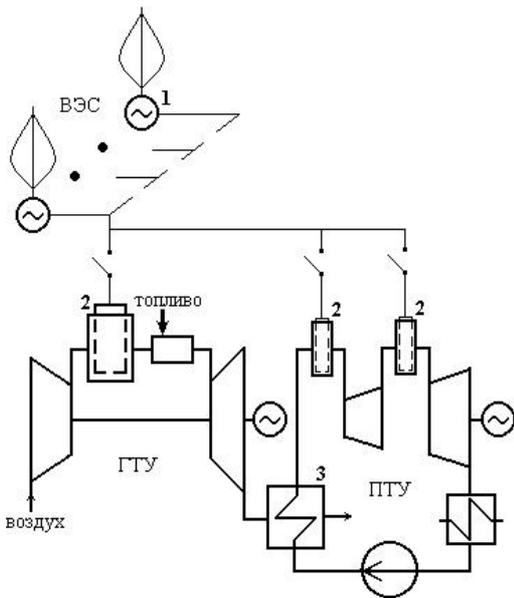


рис. 2  
 Схема использования нестабилизированной электроэнергии ВЭС в цикле парогазовой установки:  
 1 — ветроэлектрическая установка;  
 2 — электронагреватель;  
 3 — паровой котел-утилизатор.

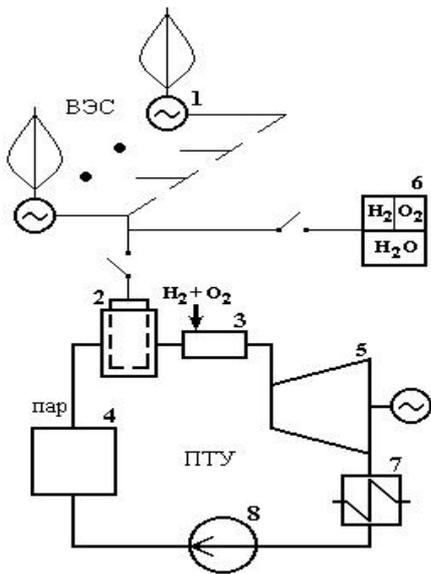


рис. 3  
 Схема использования нестабилизированной электроэнергии ВЭС в цикле паротурбинной установки:  
 1 — ветроэлектрическая установка;  
 2 — электронагреватель;  
 3 — водород-кислородный пароперегреватель;  
 4 — паровой котел;  
 5 — паровая турбина;  
 6 — электролизер;  
 7 — подогреватель сетевой воды.

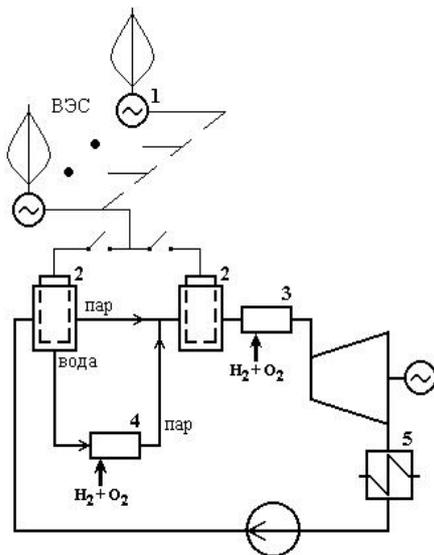


рис. 4  
 Схема использования нестабилизированной электроэнергии ВЭС в цикле водород-кислородной паротурбинной установки:  
 1 — ветроэлектрическая установка;  
 2 — электронагреватель;  
 3 — водород-кислородный пароперегреватель;  
 4 — водород-кислородный парогенератор;  
 5 — подогреватель сетевой воды или генератор вторичного пара.

---

---

# Часть III

## Приложения

---

---

---

---

Приложение I  
П.К. Горчаков, Ю.В. Кондратюк

### Основные характеристики и перспективы ветроэнергетики\*

#### Ветер как энергетический ресурс

Ветер является одним из наиболее распространенных и мощных источников энергии. По своей мощности, из доступных в настоящее время к рентабельному использованию источников, энергия ветра уступает только солнечной энергии. Дело лишь за созданием рентабельной конструкции достаточно крупных ветросиловых установок.

Ветросиловые ресурсы настолько огромны, что не могут быть полностью освоены даже и в перспективе. С количественной стороны может стоять вопрос лишь о возможной степени концентрации ветросиловых установок на том или ином ограниченном участке.

Для нахождения возможной концентрации ветровой мощности играют существенную роль следующие факторы: размер ветросилового агрегата, ветровые условия, площадь, занятая кустом ветроэлектростанций (ВЭС). Нужно при этом подчеркнуть, что имеются в виду лишь равнинные районы, поскольку для горных местностей вопрос является всецело индивидуальным и не поддается никаким даже ориентировочным исчислениям универсального характера.

---

\* Электрические станции №10–11'1939 стр. 24–30.

Сумма целого ряда конструктивных и эксплуатационных\* факторов заставляет считать, на основании проведенных проектировок и анализа показателей, оптимальным размером ометаемой площади ветросиловых агрегатов величину, измеряемую тысячами квадратных метров, а возможно и выше 10 тыс. м<sup>2</sup>.

Эти цифры относятся к ометаемой площади ветросилового агрегата, а не одного ветроколеса, поскольку оптимальные ветросиловые агрегаты будут обладать не одним ветроколесом, а двумя или даже шестью—семью колесами.

Для подобных агрегатов экономичная высота центра тяжести ометаемой площади составляет около 100 м и выше. Установление этого размера необходимо для ориентировочного выявления соотношения между среднегодовой скоростью ветра на высоте центра тяжести ометаемой площади и скоростью ветра у земли, относимой обычно к высоте 15 м. Для высоты  $H = 100$  м это соотношение составляет около  $\frac{v_{100}}{v_{15}} = 1,45$ .

Установлено, что для получения около 3000 час. в году использования полной мощности (нормальное для ВЭС число часов) нужно иметь отношение установочной скорости ветра к среднегодовой на уровне ометаемой площади  $\frac{v_0}{v_{op}} = 1,55$ .

Таким образом результирующее соотношение между установочной скоростью ветра ВЭС и среднегодовой скоростью вблизи земной поверхности составляет примерно  $\frac{v_0}{v_{15}} = 1,45 \cdot 1,55 = 2,2$ .

Мощность ВЭС на шинах определяется приближенно формулой:  $T = 18 S v_0 \cdot 10^{-5}$  кВт, где  $S$  ометаемая площадь в м<sup>2</sup>, а  $v_0$  — установочная скорость ветра в м/сек. Подставляя  $v_0 = 2,2 v_{15}$ , получаем:  $T \approx 20 S v_{15} \cdot 10^{-4}$  кВт на валу ветроколеса.

Исходя из условий допустимой степени аэродинамического затенения расстояние между отдельными ветродвигателями при большом их числе в данном районе определяется отношением ометаемой площади ветроколес крупных ветродвигателей к площади территории, на которой они расположены, примерно как 1 : 500. При кусте из относительно небольшого числа ВЭС минимальное

---

\* В статье сохранены принятые на момент ее первой публикации сокращения и написание отдельных слов.

расстояние между ветродвигателями выбирается не менее 12 диаметров ометаемой площади.

Для наглядного представления о возможной концентрации мощностей приводим таблицу для  $v_{15} = 5$  м/сек (средние ветровые условия побережий Черного и Каспийского морей) при диаметре площади, занятой кустом ВЭС, от 1 до 10 км и при агрегатах с ометаемой площадью по 2000 м<sup>2</sup>:

D	км	1	2	3	4	5	6	8	10
T	кВт	1600	4000	7000	10 000	14 000	19 000	30 000	44 000

В условиях Апшеронского полуострова и европейского побережья Ледовитого океана, где  $v_{15} = 8,5$  м/сек, возможные мощности будут соответственно выше в 5 раз.

Для всего Советского Союза получается цифра порядка 10 млрд. кВт.

По территории СССР ветроэнергетические ресурсы распределены весьма неравномерно. Центральная часть территории имеет умеренную, среднюю и пониженную ветренность  $v_{15} = 4-4,5$  м/сек в европейской части и до  $v_{15} = 3-3,5$  м/сек в центральных районах азиатской части СССР севернее Сибирской ж.-д. магистрали. На юг, в степных районах, на побережьях Черного и Каспийского морей и в степях Западной Сибири и Казахстана  $v_{15}$  повышается до 5 м/сек и выше. В этом районе следует особо отметить Апшеронский полуостров, имеющий  $v_{15} = 8,5$  м/сек и могущий разместить на себе станции с мощностью в миллионы киловатт. На востоке и на севере, на берегах и островах Великого и Северного Ледовитого океана, в северных тундровых районах скорости ветра также повышаются, причем на северных побережьях европейской части СССР имеются значительные территории со среднегодовыми скоростями выше 8 м/сек.

На возвышенностях скорости заметно выше, однако данных по ним, к сожалению, почти нет. Имеются данные лишь по небольшому числу точек и горных районов, из которых следует отметить: Крымское возвышенное плато со среднегодовыми скоростями 6-7 м/сек, Мархотский перевал у Новороссийска с  $v_{15} = 9,3$  м/сек и ущелье р. Баксан с  $v_{15} \approx 10$  м/сек.

В отношении распределения скоростей ветра по времени года характерным является следующее:

1. Как правило, зимние скорости ветра заметно выше летних.

2. В теплое время года дневные скорости больше ночных; ночью наблюдается сплошь и рядом полное затишье. На высоте 60 м разница между дневными и ночными скоростями исчезает, а выше — зависимость делается обратной, но менее ярко выраженной.

3. Большая неравномерность ветрового потока, характерная для всех районов и высот, не обеспечивает постоянства энергетического ветра. Высота установки дает некоторое преимущество в отношении постоянства ветрового потока.

Непостоянство энергетического ветра представляет одно из основных и наиболее трудно преодолеваемых препятствий к широкому включению ветросиловых установок в энергетический баланс народного хозяйства.

Препятствие это однако, как будет показано ниже, отнюдь не является абсолютным и может быть успешно преодолено методами выравнивания, аккумуляирования и комплексного использования энергии ВЭС.

## **Основные вопросы проектирования ветросиловых агрегатов**

Ветросиловой агрегат промышленного масштаба (учитывая и выполненные экземпляры и, преимущественно, проектные данные) имеет следующие основные элементы:

1. Ветроколеса — быстроходные узколопастные с 4–3–2 лопастями. Число ветроколес в одном агрегате может быть: одно (ПВЭИ), два, расположенные по вертикали на одном стволе (инж. Кондратюк и Горчаков — КрВЭС), или несколько, располагаемых в одной плоскости, но не на одной вертикали (Уфимцев, Ветчинкин, Гоннеф).

2. Коренной вал, на котором укреплено ветроколесо, и его подшипники (в некоторых конструкциях ветроколесо непосредственно сидит на подшипниках и вала нет — Гоннеф, Балаклава).

3. Повысительные механические или гидравлические редуктора (конструкция Гоннефа их не имеет, — генератор непосредственно на ветроколесе, Уфимцев и проф. Ветчинкин также предлагали подобные схемы).

4. Система регулирования с механизмами поворота лопастей или всего ветроколеса.

5. Башня-конструкция, несущая все указанное выше и дающая ветроколесам нужную высоту установки над земной поверхностью.

Создание ветросилового агрегата (ВСА), являющегося основным элементом ветроэлектрической станции, представляет собою одну из сложнейших задач современной техники, ибо необходимо учитывать:

- а) малую интенсивность энергии ветра;
- б) неравномерность ветрового потока как в пространстве, так и во времени.

Малая интенсивность ветрового потока заставляет для получения достаточно мощных установок осваивать агрегаты с ометаемыми площадями как минимум  $500 \text{ м}^2$ .

Ветросилового агрегата по проекту Ай-Петринской ВЭС имеет ометаемую площадь  $10 \text{ тыс. м}^2$ , с высотой центра тяжести ее около  $100 \text{ м}$  от земли, а в проектах инж. Гоннефа, ометаемая площадь агрегата доходила до  $100 \text{ тыс. м}^2$  (6 ветроколес диаметром по  $160 \text{ м}$  каждое) с высотой центра тяжести около  $450 \text{ м}$ .

Использование ометаемой площади, измеряемой тысячами квадратных метров, представляет серьезную конструктивную задачу. При этом нужно иметь в виду, что собственный вес конструкции необходимо снижать в пределах возможного, так как вес лопастей и всего ветроколеса в целом представляет собою основную нагрузку и для конструкции самих ветроколес (центробежные силы, изгибающие моменты от веса), и для механизмов управления лопастями (центробежные силы, центробежные моменты, инерционные моменты), и для коренного вала и подшипников (изгибающий момент от консольного веса ветроколеса, гироскопический момент), т. е. для значительной части наиболее дорогих элементов ВЭС.

Основные законы изменения теоретического веса элементов конструкций ветроколес\* в зависимости от их размеров выражаются следующим образом.

Удельный вес ветроколеса (на  $1 \text{ кВт}$  или на  $1 \text{ м}^2$  ометаемой площади) при одном и том же установочном ветре и одной и той же схеме растет прямо пропорционально диаметру ветроколеса (ввиду

---

\* Под теоретическим весом имеется в виду та часть веса конструкции, которая вызывается непосредственно величиной действующих на конструкцию аэродинамических и центробежных сил, без учета таких конструктивных условий, как упругая устойчивость элементов, предельная тонкость из условий коррозии, предельная ажурность по соображениям производственным и стоимости и т.п., а также собственный вес.

того, что вес растет с кубом диаметра, а мощность — только с квадратом — по ометаемой площади).

Отсюда вытекает, что чем большее число мелких ветроколес охватывает данную ометаемую площадь, тем меньше их суммарный вес.

К этому надо прибавить, что этот же квадратно-кубический закон в равной степени относится и к коренному валу с подшипниками, и к редукторам ветродвигателя ввиду того, что при равном установочном ветре обороты ветроколеса падают пропорционально увеличению его диаметра, а вращающий момент растет соответственно с кубом диаметра ветроколеса.

Однако ряд техно-экономических факторов приводит к тому, что оптимальный диаметр ветроколес приходится определить достаточно крупным размером — не менее 30–40 м, но возможно, что и значительно выше, т.е. размером, дающим вес на единицу ометаемой площади значительно больший, чем минимально возможный при более мелких ветроколесах.

Главными из этих факторов являются:

1. Общая конструктивная эксплуатационная выгодность более крупных агрегатов.

2. Возрастание мощности ветра с высотой, для равнинных мест примерно определяемое зависимостью  $T = H^{\frac{2}{3}} C$ .

3. Уменьшение неравномерности ветра с высотой.

Последние два фактора требуют высокой мачты, а высокая мачта может себя экономически оправдать лишь при установке на ней достаточной мощности и косвенно требует укрупнения ветроколес.

В связи с проблемами охвата больших ометаемых площадей и большим весом крупных ветроколес в вопросе построения схемы промышленного агрегата имеется два противоположных течения.

Все конструкции ЦВЭИ и его конструктивных преемников — ВИМЭ и ВИСХОМ имеют по одному ветроколесу в агрегате.

Ими созданы агрегаты — Д-12 — 15 кВт и Д-30 — 100 кВт и проекты более мощных агрегатов, как Д-50 — 1000 кВт.

На рис. 1 дан характерный для этого конструктивного типа общий вид ВЭС Д-50 — 1000 кВт по проекту, сделанному применительно к условиям Кольского полуострова.

Закон увеличения удельного веса ветроколес вместе с их диаметром и веса редукторов, составляющего ориентировочно от 0,4 до 0,9 от веса ветроколес, а также и технологические трудности с изго-

товлением того и другого при большом диаметре ветроколеса, привели другую конструкторскую группу — изобретателя А.Г. Уфимцева и проф. В.П. Ветчинкина — к мысли ориентироваться на создание ветросилового агрегата из многих менее крупных ветродвигателей, устанавливаемых на одной общей мачте-раме, которая дает ветродвигателям должную высоту установки и совместный поворот на ветер.

На рис. 2 дан характерный общий вид «рамного» ветросилового агрегата — 70 кВт.

Авторы настоящей статьи, руководя проектированием Ай-Петринской ВЭС 10 тыс. кВт, начали с ветросилового агрегата 1-Д-100 (в эскизном проекте 1932 г.), но затем перешли к конструкции, занимающей промежуточное место между указанными выше крайними течениями: ветросиловой агрегат Ай-Петринской ВЭС 10 тыс. кВт принципиально уже не является одноколесным агрегатом, но число ветродвигателей — 2 — еще невелико, и башня еще сохранила простую форму одного стержня.

На рис. 3 дается общий вид этой ВЭС по проекту 1936 г.

В результате целого ряда проведенных проектировок и анализа показателей ветросилового агрегата и их компонентов можно сделать следующие выводы:

Оптимальный промышленный ветросиловой агрегат будет обладать не менее чем двумя ветроколесами.

Применение металлических башен позволяет увеличивать число ветродвигателей в одном агрегате, а железобетонная башня принуждает не идти далее двух ветродвигателей — подобно Ай-Петринскому агрегату.

Промышленный ветросиловой агрегат будет иметь ветроколесо с диаметром не ниже 30–40 м.

Ветроколеса ветродвигателей промышленного масштаба имеют от 20 до 60 об/мин, причем последняя цифра относится лишь к менее крупным мощностям. Ветроколеса Ай-Петринской ВЭС должны делать всего по 20 об/мин. Это обстоятельство выдвигает особое требование к редуктору. Значение редуктора в ветротехнике видно на примерах Ай-Петринской ВЭС, где ветродвигатель в 5000 кВт имеет на валу вращающий момент 330 т•м, Балаклавской ВЭС мощностью всего 100 кВт, имеющей вращающий момент около 6 т•м, т.е. такой же вращающий момент, как у 3000-оборотного турбогенератора мощностью 15 тыс. кВт.

Радикальное решение вопроса заключается в создании гидравлической передачи.

В проекте Ай-Петринской ВЭС задача гидравлической передачи была успешно разрешена в виде присоединяемого к ветроколесу на 20 об/мин лопаточного ротативного насоса системы т. Чечулина, нагнетающего масло под давлением до 37 ат. в гидротурбину, непосредственно присоединенную к генератору на 600 об/мин.

Вес основного элемента этой передачи — насоса — оказался равным 90 т, вместо предусмотренного раньше в проекте зубчатого редуктора весом около 220 т.

При этом примененные в насосе материалы и требования к точности обработки оказались много проще, чем для зубчатого редуктора.

Неравномерность ветрового потока ставит перед ветротехникой тройкого рода задачи: прочностные, регулировочные и энергетические.

Обычный ветровой поток в теплое время года показан на графике экспериментальной записи давления ветра на горизонтальную пластинку размером  $12 \times 0,35$  м (рис. 4). Нужно, однако, иметь в виду, что изменчивость давления и резкость переходов для лопасти ветроколеса оказываются еще значительно большими, чем для неподвижной пластинки, так как лопасть перемещается в потоке в поперечном направлении со скоростями в несколько десятков метров в секунду.

Ввиду неравномерности ветрового потока аэродинамическую нагрузку на лопасти приходится учитывать как динамически прикладываемую.

В части регулирования неравномерность ветрового потока ставит перед ветротехникой задачи, которые совершенно отсутствуют в области гидравлических и паровых турбин.

В то время как с регулированием гидравлических и тепловых двигателей вполне справляется центробежное — скоростное регулирование, для ветродвигателей оно совершенно недостаточно.

Ветродвигатель, имеющий жесткую связь генератора с ветроколесом и работающий в какой-либо системе с нормальным синхронным генератором, не может самостоятельно изменить своих оборотов при изменении скорости ветра и нуждается поэтому в дополнительном регулировании от фактора мощности, который может быть

взят или непосредственно от замера скорости ветра, или от вращающегося момента на валу, или от электрической нагрузки.

При превышении мощности регулирование ветродвигателя точно так же должно «выводить лопасти из-под ветра», как и при «переоборотах».

Другой способ решения этой задачи заключается в обеспечении ветроколесу асинхронного скольжения вперед, — переоборотов при избытке мощности, чтобы оно имело возможность индивидуально регулироваться своим центробежным регулятором.

Скольжение в свою очередь может быть достигнуто по разным путям — в электрической части (асинхронный генератор, преобразователи, специальные машины переменного тока, постоянный ток с последующим преобразованием) или в механической части — специальной гидравлической муфтой или же созданием мягкого гидравлического редуктора. По имеющимся на сегодняшний день решениям создание скольжения в электрической части следует признать дорогим, весьма невыгодным по к. п. д. и эксплуатационно излишне сложным, а вполне приемлемым оказались гидравлические решения в виде муфт, ограничивающих вращающий момент, и в виде нежесткой гидравлической редукции.

## **Крымская ветроэлектростанция**

Ай-Петринская ветроэлектростанция имеет по проекту два ветродвигателя на одной башне. Каждый ветродвигатель имеет ветроколесо диам. 80 м с тремя лопастями. При каждом ветроколесе имеется гидравлический редуктор, повышающий обороты с 20 до 60 об/мин, генератор трехфазного тока 5000 кВт, 6000 В и комплекс механизмов управления и регулирования.

Нижняя установка находится на высоте 65 м от земли, а верхняя — на вершине башни, на высоте 158 м. Общее для обоих ветродвигателей распределительное устройство и щиты находятся в добавочном этаже машинного зала нижней установки. Отсюда ток по 6-кв кабелям подводится к основанию башни на специальные кольцевые токосъемы, так как башня поворачивается на своем основании в зависимости от направления ветра.

С токосъемов ток поступает на повысительную подстанцию в 6/110 кв.

В основном проекте, утвержденном в Главэнерго в 1934 г., башня представляла собой железобетонную трубу с внешним диаметром 6,5 м, заключающую внутри себя лестницу и два лифта. В вертикальном положении башня удерживается тремя растяжками, по восьми стальных канатов каждая. Чтобы разгрузить низ башни от больших изгибающих моментов, а также в целях предоставления ей возможности устанавливаться всегда ветроколесами против ветра, основание башни поставлено на шарнир — гидравлический подпятник.

Шарнир представляет собою стальной цилиндр, установленный на фундаменте и наполненный специальной густой мазью из вискозина с канифолью. Сверху этот цилиндр запирается поршнем, на котором и стоит вся башня. Специальная конструкция поршня позволяет ему покачиваться в цилиндре, не нарушая плотности запирающей мази, находящейся под «давлением около 350 ат, и вращаться в нем с минимальным сопротивлением.

В целях устранения провисания растяжек и уменьшения при этом отклонения башни от вертикального положения, в каждой растяжке, помимо основных канатов, имеются поддерживающие канаты, размещенные выше и несущие на себе вес основных канатов и позволяющие им всегда сохранять прямолинейную форму.

Так как ствол башни должен поворачиваться, растяжки и их поддерживающие канаты прикреплены к башне через кольцо тележек, внутри которого башня прокатывается, опираясь на него рельсами. Ветроколеса металлической конструкции имеют лопасти, самоустанавливающиеся взаимодействием центробежных и аэродинамических сил.

Регулирование лопастей осуществляется посредством сервомоторов, перемещающих имеющиеся на лопастях специальные балансирующие грузы.

Сервомоторы управляются воздействием от центробежного регулятора и регулятора мощности.

Передача энергии вращения ветроколеса генератору идет по следующему пути: ветроколесо вращает коренной вал, который своим концом входит внутрь ствола башни.

При помощи шарнирной муфты к этому коренному валу присоединен второй коренной вал, находящийся внутри башенного ствола и заканчивающийся многодисковой фрикционной муфтой с гидравлическим прижимом дисков.

Фрикционная муфта имеет предохранительное значение, автоматически отключая от ветроколеса последующие звенья в аварийных случаях, что совершенно необходимо, если учесть огромную инерцию 80-м ветроколеса, имеющего на конце окружную скорость 85 м/сек. За фрикционной муфтой следует расположенный уже по другую сторону ствола башни ротативный масляный насос, которым и заканчивается цепь элементов, жестко присоединенных к ветроколесу.

Насос подает масло в находящуюся в верхнем этаже турбину Пельтона, соединенную непосредственно с генератором переменного тока.

Для отвода выделяющегося в гидравлической передаче тепла часть циркулирующего в системе масла пропускается через специальный радиатор, выпускаемый вниз на ветер из хвостовой части машинного здания.

Гидравлическая передача обеспечила приведение генератора во вращение со строго равномерной скоростью от ветроколеса, которому в силу порывистости и непостоянства ветра нельзя гарантировать ни достаточно постоянного числа оборотов, ни отсутствия перегрузок по вращающему моменту.

Стоимость Ай-Петринского мощного ветросилового агрегата на 10 тыс. кВт в первом экземпляре по ценам 1936 г. определена суммой около 10 млн. руб., т.е. около 1000 руб. за 1 кВт.

Стоимость энергии была определена в 5 коп. за 1 кВт•ч.

Годичная выработка была исчислена в 25 млн. кВт•ч, а приведенное число часов использования в году — 2500.

Ветросилового агрегат Ай-Петринской ВЭС имеет удельный расход металла около 220 кг/кВт при железобетонной башне и около 340 кг/кВт при металлической башне.

Малый расход металла обусловлен хорошими ветровыми условиями Ай-Петринской Яйлы — на уровне ветроколес  $v_{\text{средн}} = 9$  м/сек.

## **Ветроэлектростанция 100 кВт**

Взяв установку на создание ветроэлектростанций небольшой мощности, сектор ВЭС ТЭП с конца 1938 г. начал проектирование ветросилового агрегата на 100 кВт.

В основу проектирования была поставлена цель создания агрегата, дающего возможность его освоения в опытном экземпляре и доведения до серийного производства в минимальные сроки и обладающего при этом мощностью и способом отдачи энергии, пригодными для широкого применения.

Кроме того, имеется в виду путем специально поставленных исследований при опытной эксплуатации этих ВЭС получить ряд экспериментальных данных для более уточненного в дальнейшем проектирования и строительства таких же, а также и более мощных станций. Агрегат состоит из башни растяжечного типа высотой 65 м, на которой размещены по вертикали два быстроходных ветроколеса диам. по 20 м.

На одном валу с ветроколесами имеются зубчатые редукторы.

Мощность каждого ветроколеса, при установочной скорости 9,6 м/сек, на валу равна около 60 кВт. Мощность обоих ветроколес объединяется на одном вертикальном валу, идущем по башне вниз, где карданными сопряжениями он переводится в центр башни и проходит через пята башни к нижнему зубчатому редуктору.

К горизонтальному валу нижнего редуктора присоединяется нормальный синхронный генератор переменного тока на 100 кВт, который помещен вместе со щитом управления в небольшой будке на земле.

Такое расположение генератора и щитов управления дает удобное обслуживание и возможность непосредственного присоединения к тому же генератору любого теплового резерва или инерционного уравнивателя, а также возможность параллельной работы с энергетической системой.

Башня принята растяжечного типа как более экономная в отношении расхода металла. Высота башни 65 м избрана так, чтобы разместить центр ометаемой площади на высоте 50 м, в зоне, где отсутствуют ночные затишья. На этой высоте имеются большие средние скорости ветра по сравнению с высотой 15–20 м и тем самым увеличивается выработка, а кроме того, уменьшается неравномерность, т.е. улучшается и качество энергии.

Ствол башни сконструирован из уголкового железа. Растяжки присоединяются к охватывающему ствол кольцу, относительно которого ствол может проворачиваться, воспринимая от него через специальные катковые опоры вертикальную реакцию растяжек и

передавая в свою очередь через это же кольцо на растяжки горизонтальные усилия от ветровых нагрузок.

Растяжки имеют анкерные опоры в земле.

Ствол опирается на специальную пяту, состоящую из фундаментной опоры и роликового подшипника.

Ствол жестко связан с консольными конструкциями, несущими ветроколеса, и, поворачиваясь вместе с ними вокруг своей вертикальной оси, устанавливает ветроколеса против ветра.

Поворот на ветер предусмотрен автоматически от маленького ветроколеса (виндрозы), установленного на стволе башни и связанного системой передачи с неподвижной частью растяжечного пояса.

Для сообщения по длине ствола запроектирована лестница и ручной уравновешенный подъемник, расположенный внутри башни.

В средних ветровых условиях (при среднегодовой скорости  $v_{15} = 4,7$  м/сек на высоте 15 м от земли) запроектированный вышеуказанный ветросиловой агрегат может выработать в год около 300 тыс. кВт•ч, имея, таким образом, приведенное число часов использования 3000 час. в году.

Если аналогичный агрегат поставить в условия Апшеронского полуострова, соответственно усилив его элементы, прежде всего редуктора, — то он смог бы дать при том же числе часов использования 500 кВт мощности и соответственно около 1,5 млн. кВт•ч годичной выработки.

Этот ветросиловой агрегат на 100 кВт имеет удельный расход металла около 450 кг/кВт, из которых около 300 кг — обычные металлические конструкции.

В случае указанного выше увеличения мощности агрегата вес его возрос бы не более, чем в 2 раза, а следовательно, удельный расход металла снизился бы до 180 кг/кВт.

## **Перспективы промышленного использования энергии ветра\***

По проектным данным, уже при мелкосерийном изготовлении и монтаже ветросилового агрегата небольшой и средней мощности, стоимость установленного киловатта в средних ветровых условиях

---

\* Значительная часть содержания этого раздела заимствована из докладной записки зав. сектором ВЭС ТЭП И.Д. Егорова.

составит около 1500 руб. при ветросиловых агрегатах мощностью 100 кВт и выше, а стоимость киловатт-часа при кустовом расположении ветросилового агрегата будет около 4–5 коп., из которых 3 коп. составляют амортизационные начисления и 1–2 коп. — обслуживание.

В ветровых условиях выше средних, имеющихся на значительных территориях нашего Союза, стоимость ветроэнергии будет ниже в полтора-два раза.

Наконец, имеется ряд районов и точек, обладающих исключительными ветровыми условиями, в которых установленный киловатт будет стоить до 600 руб. и киловатт-час 2–2,5 коп.

По характеру использования энергии ветра можно наметить три основных категории:

Использование в комплексе с тепловыми и гидравлическими установками по задаваемому потребителями графику.

Использование для технологических процессов, которые не требуют постоянства и жесткого графика энергоснабжений.

Изолированное использование энергии ветра с применением ее аккумулялирования и отдачей энергии по графику, заданному потребителем.

В комплексе с гидростанциями ВЭС могут заменить собою частично или полностью тепловые станции, причем гидростанции частично или полностью переводятся на роль резервов к ВЭС и накапливают воду в то время, когда имеется ветер.

Разумеется, такое построение совместной работы ВЭС и гидростанций возможно в меру наличия у последних зарегулированного водного объема,— а если необходимо повышение не только выработки системы, а и ее располагаемой мощности,— то и в меру наличия резервных гидравлических мощностей.

Нужно при этом заметить, что в отношении обеспечения зарегулированным объемом ВЭС значительно менее требовательны, чем большинство гидростанций. По исследованию инж. Емцова (Энерг. инст. Ак. наук) для годичного регулирования ветросилового агрегата необходима емкость аккумулятора, соответствующая всего лишь полумесячной выработке его номинальной мощности.

Следует также отметить, что обычно периоды пониженного расхода воды (зима) в реках как раз соответствуют повышенным скоростям ветра.

Рентабельность ветросилового агрегата при работе в системе с гидростанциями складывается так: киловатт-час тепловой станции принимаем стоимостью 5–6 коп. Киловатт-час куста ветросилового агрегата, даже в средних ветровых условиях, обойдется не выше 4–5 коп., а в лучших ветровых условиях будет значительно ниже.

Помимо стоимости энергии, имеет еще существенное значение и размер капиталовложений на киловатт-час годичной выработки.

Ввиду значительной условности сопоставления капиталовложений в денежном их выражении ряд тепловых станций, уже имеющих богатый опыт строительства и производства нужного для них оборудования, и ВЭС, совершенно не имеющих такого опыта, представляет существенный интерес сравнение капиталовложений в материальном выражении — прежде всего с точки зрения затрат металла. Для тепловой электростанции полная затрата металла на установленный киловатт составляет около 300 кг.

Для ВЭС в средних ветровых условиях по имеющимся уже сейчас конструктивным решениям металлоложения составляют около 450 кг/кВт, а для лучших ветровых условий — до 200 кг. Нужно, однако, иметь в виду:

1. Металл ВЭС — это в подавляющей его части простые металлические конструкции башни, а в тепловой станции — это в значительной части котлы, трубопроводы высокого давления и турбины.

2. В ВЭС, кроме металла на конструкции ветросилового агрегата, не расходуется почти ничего, а в тепловых станциях, помимо металла, имеются весьма крупные капиталовложения по элементам и из других материалов — на здания и вспомогательные сооружения.

Таким образом для ряда весьма обширных районов ВЭС могут дать более дешевую энергию, чем тепловые станции, не требуя больших капиталовложений на ту же годичную выработку, не требуя и топлива.

Таким образом в значительном числе случаев ВЭС выгодно строить даже для целей одной лишь экономии топлива на тепловых станциях, а увеличение выработки энергосистемы, имеющей в своем составе гидростанции, почти везде значительно выгоднее произвести постройкой ВЭС, а не ТЭС, так как при приблизительно равных капиталовложениях ВЭС полностью экономит топливную слабую.

В ряде случаев увеличивать выработку системы значительно выгоднее по размеру капиталовложений и скорости ввода в эксплуатацию путем строительства ВЭС на базе имеющегося зарегулированного объема гидростанций, нежели строительством дополнительных гидростанций в том же районе.

Вторая категория использования энергии ветра будет иметь место для следующих назначений:

1. Энергоемкие производства.

Известно, что некоторые роды производств настолько энергоемки, что они могут быть рентабельными лишь на базе дешевой электроэнергии.

Такие производства создавались обычно при мощных гидроэнергетических ресурсах, например, Волховгэс, Днепрогэс.

Однако, такие места, как Апшеронский полуостров, долина Бакеана, некоторые районы Арктики и места в горных местностях, располагающие средне-годовыми скоростями ветра 9 м/сек и выше, могут и должны сделаться ветровыми Днепрогэсами — с большим преимуществом в пользу ветра как в отношении размера капиталовложений на установленный киловатт, так и в отношении сроков ввода в эксплуатацию, а также и в отношении уязвимости с воздуха, вследствие более разбросанного расположения кустов ВЭС, состоящих из большого количества относительно некрупных единиц.

Энергоемкие производства следует поэтому создавать на базе энергии ветра в первую очередь именно в указанных выше районах.

2. В условиях Арктики, некоторые районы которой обладают очень высокими ветровыми условиями, и где в то же время топливо стоит весьма дорого вследствие дальности и трудности транспорта, — использование энергии ветра в более крупных масштабах окажется вполне рентабельным не только для получения механической и электрической энергии, но и для отопительных целей.

Создав комбинированную ветротеплосиловую установку, можно для районов с особо дальнепривозным топливом рентабельно организовать бесперебойное снабжение по жесткому графику энергией любых потребителей с тепловым аккумулярованием энергии.

Возможно также и химическое аккумулярование. За счет избытка получаемой от ВЭС электроэнергии производится электролиз воды. Кислород вместе с топливом поступает в топку котла тепло-

вой станции или цилиндр дизеля, в результате чего получается энергия и чистая углекислота.

Водород вместе с углекислотой реагирует затем каталитически в присутствии никеля, давая чистый метан, который может быть хорошо использован как средство аккумуляирования энергии ВЭС на время безветрия, имея огромную теплотворную способность (на 30% выше бензина), а по портативности и удобству хранения в больших количествах он неизмеримо более выгоден, чем непосредственно получаемый электролизом водород.

Сжигаемый во время безветрия в дизельной установке метан снова затем дает углекислоту, которую относительно легко сгустить до жидкого состояния и в таком виде хранить до момента восстановления ее в метан во время наличия избыточной мощности ветра.

Технически более освоенным методом аккумуляирования энергии является гидравлическое аккумуляирование путем запасаания воды в возвышенно расположенных водохранилищах.

Вообще такое аккумуляирование в известной мере неотделимо от параллельной работы ВЭС и гидростанций, но при благоприятных местных условиях установка окажется рентабельной и в том случае, когда значение собственного дебита водохранилища равно нулю, и все наполнение его производится только за счет перекачки воды с нижнего бьефа энергией ВЭС в периоды ее избытка.

Ярким примером таких возможностей является Варнаутская долина в Крыму, где при относительно небольших затратах можно создать искусственное водохранилище, могущее обеспечить зарегулирование мощности до одного миллиона киловатт.

### **Работа по ветроэнергетике в третьей пятилетке**

Поскольку, судя по всем имеющимся сейчас материалам, ветроэнергетике в нашем народном хозяйстве принадлежит в недалеком будущем весьма большая роль, необходимо организовать срочное строительство небольших (100 кВт) ветросиловых станций со всем комплексом относящихся к этому делу мероприятий — созданием производственно-экспериментальной базы, производством необходимых исследований, экспериментов, экспериментальных и перспективных проектировок.

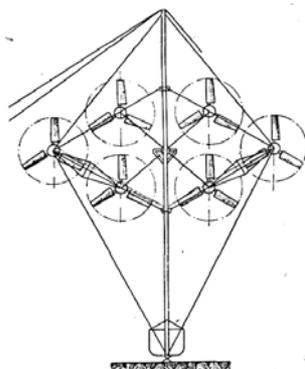
Попутно и немедленно, вслед за реализацией станции 100 кВт, нужно приступить к проектированию более мощных ветродвигате-

лей и более развитых башен (мачт по типу Уфимцева–Ветчинкина) для того, чтобы к концу третьей пятилетки были готовые конструкции ветросиловых агрегатов мощностью до 1000 кВт для средних ветровых условий.

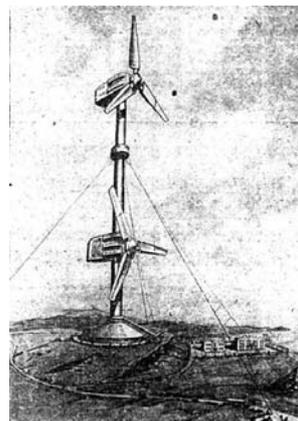
## Иллюстрации



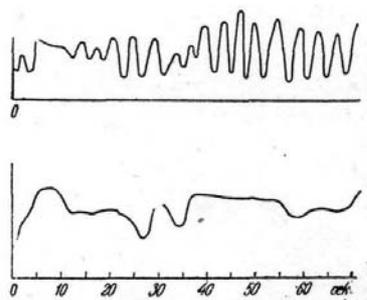
**Рис. 1.**  
Ветроэлектростанция  
1000 кВт Д-20 ЦВЭИ



**Рис. 2.**  
Ветроэлектростанция  
6-Д-10 на 70 кВт  
по проекту Уфимцева  
и проф. Ветчинкина



**Рис. 3.**  
Ай-Петринская  
ветроэлектростанция  
2-Д-80 на 70 кВт  
по проекту инж. Горчакова  
и Кондратюка



**Рис. 4.**  
Запись порывистости ветра и  
вызываемых ею колебаний

Нижняя кривая показывает давление ветра на платину  $0,35 \times 12$  м, записанную в единицах  $h = v^2$ , где  $h$  — ордината кривой в мм, а  $v$  — скорость ветра в м/сек. Верхняя кривая показывает синхронную величину упругой деформации экспериментальной системы, подвергшейся действию записанного ниже давления ветра и имеющей период собственных колебаний  $T = 5$  сек.

---

---

## Приложение II Будем строить флюгер Вильда\*

Этот прибор, как хороший перочинный ножик, имеет много разных приспособлений. На нем имеется часть, показывающая силу ветра — ветромерная доска. Но, чтобы этот прибор действовал, надо, определенным образом установить его по ветру. Флюгер Вильда сам следит за направлением ветра и устанавливает, как следует, ветромерную доску. Кроме того, на нем установлен указатель стран света. Много хлопот и с установкой флюгера. Но зато, если у вас все получится, этот прибор будет вашей гордостью.

Сначала надо сделать деревянную мачту, метров в 8 высотой. Наверху мачты, как ее продолжение, приделайте железный стержень длиной в 170 см и толщиной в 1 см. Стержень кончается стальным острием, он основа всего флюгера, на нем крепятся все части. На стержень надета железная трубка длиной 90 см. Она должна свободно вертеться на стержне, но отнюдь не болтаться. Для этого в верхнее отверстие трубки впаян стальной стерженек (длиной 1 см), в нем снизу высверлено на конце углубление. Когда вы наденете на стержень трубку, то острие стержня войдет в это углубление, и трубка будет вращаться гораздо легче.

Флюгер — приспособление для определения направления ветра — пристроен на расстоянии 10 см от нижнего конца трубки. На это место плотно насажена деревянная муфта толщиной 4 см и длиной 10 см. К ней с боков прибиты две продолговатых, сужающихся пластинки, вырезанных из кровельного железа. Их длина — 36 см. Одни концы пластинок в 14 см шириной, а другие — в 8 см. Узкие концы отогнуты на 1 см и этим-то загибом и прибиты к муфте. Прибивать надо так, чтобы концы пластинок сходились под углом в 20°. С другой стороны муфты вделан железный прут в 24 см длины (полная его длина 26 см; 2 см пойдет на прикрепление к муфте) толщиной около 0,5 см. Это прут и есть флюгер. Он будет указывать, откуда дует ветер. Прут должен уравнивать вес пластинок. Для этого подбирают железную шайбу и припаивают ее на ко-

---

\* Источник: <http://pogoda.ru.net/index.php>; первоисточник: Улицкий М.Б. Самодельная метеорологическая станция. 1936 г.

нец стержня. Понятно, что шайбу надо надевать до закрепления муфты на трубке.

Под флюгером (уже не в трубке, а на самом стержне) надета другая муфта, восьмиугольная. Она тоже сделана из дерева диаметром 6 см, длиной 5 см и крепко-крепко прикреплена к стержню шурупом. В эту муфту вделано 8 железных прутьев — четыре подлиннее (40 см, длины) и четыре между ними покороче (30 см длины). На концах длинных прутьев укреплены сделанные из проволоки буквы, указывающие страны света: С; Ю; В; З. Маленькие прутья указывают промежуточные страны света: СВ; ЮВ; СЗ; ЮЗ. Прутики точно установлены по странам света и крепко держатся на муфте. Их сдвинуть не так-то просто. Как определить направление ветра, теперь вам ясно. Против какого прута остановится стержень флюгера, с той стороны и дует ветер. Направление ветра можно определить еще точнее. Например, если стержень флюгера остановился между северными и северо-восточными прутьями, значит направление ветра будет северо-северо-восточным и т.д.

Самая сложная часть ветромера — приспособление для измерения силы ветра. Сейчас будем его делать. На самой верхушке трубки надо насадить муфту такого же размера, как и муфта флюгера. К ней нужно привинтить деревянный угольник, одна сторона которого равна 20 см, другая — 10 см. Угольник сделан из планок шириной в 3 см, а толщиной в сантиметр. К длинной стороне угольника (ее нужно привинтить горизонтально и под прямым углом к трубке) нужно приделать ветромерную доску. Размер этой доски — 30×15 см. Доску сделайте из железа, латуни, цинка или дерева, но вес ее должен быть абсолютно точным — 200 г\*. Этого веса нужно добиться, стачивая доску рубанком, наждачной бумагой, или припаявая к ней олово. Олово надо припаявать обязательно на середине доски, чтобы не переместился ее центр тяжести.

К любому из коротких краев доски нужно припаять отрезок стальной проволоки толщиной в 2 мм. Его концы выступят за края доски на 2 см. Их нужно заострить и продеть в два ушка, ввинченных в нижнюю сторону длинной планки угольника. Доска у вас не

---

\* Для территорий с частыми сильными ветрами этот вес должен быть 800 г. К сильным относятся ветры, скорость которых, согласно современной градации (см. Наставления по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. — СПб, 1996) превышает 15 м/с.

будет ходить между ушками вправо и влево потому, что с одной стороны она упрется в угольник, а с другой — в железную пластинку. Эту железную пластинку надо привинтить к угольнику на расстоянии 1 см от его края. Таким образом доска, свободно вращаясь на колечках, будет отклоняться всегда против ветра в зависимости от его силы, — вдоль по вертикали, приделанной к угольнику дуги. Эта дуга — второе приспособление, с помощью которого мы узнаем силу ветра. Сейчас мы ею займемся. Дуга сделана из железа шириной в 1 см, радиусом в 16 см. К ней прикреплены 8 штифтов, сделанные из 2-мм проволоки. Четыре штифта длинных, по 14 см длины, а четыре покороче — 10 см длины. Первый длинный штифт приделан отвесно вниз. Когда доска висит неподвижно, он приходится как раз на ее ребро. Следующие штифты, попеременно короткие и длинные припаиваются под определенными углами.

Между штифтом №1 и вертикальным	4°
Между штифтом №2 и вертикальным	15,5°
Между штифтом №3 и вертикальным	31°
Между штифтом №4 и вертикальным	45,5°
Между штифтом №5 и вертикальным.	58°
Между штифтом №6 и вертикальным	72°
Между штифтом №7 и вертикальным	80,5°

Теперь смотрите, до какого штифта отклонилась доска. Заметьте штифт, — смотрите на таблицу, которую мы даем. Скорость ветра в зависимости от отклонения доски до того или иного штифта и определяется по таблице, приведенной выше.

Вес дуги со штифтом должен быть уравновешен на муфте так же, как мы уравновешивали хвост флюгера. У конца длинной стороны угольника надо закрепить пятисантиметровый кусочек проволоки и на нем уравновесить шайбу. Когда все части флюгера закреплены и на стержне, и на трубке, надо приготовиться к установке прибора на мачте. К этому моменту муфта с ветромером закрепляется в таком положении, чтобы ветромерная доска висела перпендикулярно к стержню флюгера. Конец флюгера вставляется в торец мачты (в отверстие, высверленное коловоротом, сантиметров на 20). Мачту для прочности надо привязать толстой проволокой к столбам, врытым вокруг нее в землю. К мачте обязательно надо прибить ряд поперечин. Это ступеньки, по которым можно влезать на мачту, для установки или исправления флюгера.

Теперь надо закрепить муфту с указателями сторон света так, чтобы прут с буквой «С» был направлен точно на север. Это будет

сделано только тогда, когда противоположный прут, служащий как бы его продолжением, будет показывать на юг, т.е. находиться как раз против солнца в истинный полдень. Установить правильно направление прута на юг можно следующим простым способом. Возьмите тонкую бечевку (шнурок) длиной метров 15 или 20. С помощью широкой свободной петли захватите бечевку одним концом за мачту у земли (петля должна свободно обхватывать мачту). Привязав к другому концу бечевки короткий острый колышек, и натягивая бечевку, прочертите колышком по земле заметную дугу с южной стороны, мачты приблизительно от юга-востока до юго-запада. Если вы эту работу будете производить летом, можно будет взять более короткую бечевку. В ясное утро следите внимательно за тенью вашей мачты и отметьте забитым в землю временным колышком точку, в которой конец тени от мачты попадет точно на прочерченную вами дугу. Далее вы заметите, что до полудня тень будет укорачиваться, после полудня начнет опять удлиняться и в некоторый момент конец тени опять дойдет по прочерченной на земле дуге. Забейте в этом месте второй временный колышек. Расстояние между обоими временными колышками разделите точно пополам и в точке деления забейте третий колышек — постоянный. Направление от этого третьего колышка на мачту и будет тем направлением, по которому должен глядеть северо-южный прут нашего указателя, после чего муфту наглухо завинчивают на стержне прибора шурупом.

Помните только, что мачта при этих определениях должна быть установлена точно по отвесу. Третий колышек лучше не выдергивать, а оставить на месте: он пригодится вам при проверке положения указателя, т.к. эту проверку необходимо повторять не реже одного раза в месяц. Станьте у мачты, записывайте по стержню флюгера направление ветра и 1–2 минуты следите за отклонением ветромерной доски, записывая ее среднее положение, т.е. между какими штифтами она качается. Потом, уже по таблице, вы установите скорость ветра. Для отметки вечером недурно иметь под прибором электрическую лампочку с рефлектором.

---

---

### Приложение III Ветроэнергетика в России

Мы уже писали о том, насколько масштабными были работы по ветроэнергетике в нашей стране фактически до второй половины 70-х годов 20 века. Несмотря на достаточно продолжительное пребывание в латентном состоянии, сегодня ветроэнергетике набирает обороты. Строительство ветростанций было включено в Федеральную целевую программу «Энергоэффективная экономика». На сегодня существует несколько предприятий, производящих ветроагрегаты, а также ряд фирм, занимающихся проектированием и монтажом ветроустановок\*.

Технический потенциал ветровой энергии России оценивается свыше 50'000 миллиардов кВт•ч в год. Экономический потенциал составляет примерно 260 млрд. кВт•ч в год, то есть около 30% производства электроэнергии всеми электростанциями России.

Установленная мощность ветровых электростанций в стране на 2006 год составляет около 15 МВт.

Одна из самых больших ветроэлектростанций России (5,1 МВт) расположена в районе поселка Куликово Зеленоградского района Калининградской области. Среднегодовая выработка которой составляет около 6 млн. кВт•ч.

На Чукотке действует Анадырская ВЭС мощностью 2,5 МВт (10 ветроагрегатов по 250 кВт) среднегодовой выработкой более 3 млн. кВт•ч, параллельно станции установлен ДВС вырабатывающий 30% энергии установки.

Также крупные ветроэлектростанции расположены у деревни Тюпкильды Туймазинского района Республики Башкортостан (2,2 МВт).

В Калмыкии в 20 км от Элисты размещена площадка Калмыцкой ВЭС планировавшейся мощностью в 22 МВт и годовой выработкой 53 млн. кВт•ч, на 2006 год на площадке была установлена одна установка «Радуга» мощностью 1 МВт и выработкой от 3 до 5 млн. кВт•ч.

---

\* Перечень некоторых из этих предприятий приводится в настоящем издании.

В республике Коми вблизи Воркуты строится Заполярная ВДЭС мощностью 3 МВт. На 2006 год уже действовало 6 установок по 250 кВт общей мощностью 1,5 МВт.

На острове Беринга Командорских островов действует ВЭС мощностью 1,2 МВт.

В 1996 году в Цимлянском районе Ростовской области установлена Маркинская ВЭС мощностью 0,3 МВт.

В Мурманске действует установка мощностью 0,2 МВт.

Существуют проекты на разных стадиях проработки Ленинградской ВЭС 75 МВт (Ленинградская область), Морской ВЭС 30 МВт и Валаамской ВЭС 4 МВт в Карелии, Приморской ВЭС 30 МВт (Приморский край), Магаданской ВЭС 30 МВт, Чуйской ВЭС 24 МВт в Республике Алтай, Усть-Камчатской ВДЭС 16 МВт, Новиковской ВДЭС 10 МВт в Республике Коми, Дагестанской ВЭС 6 МВт, Анапской ВЭС 5 МВт и Новороссийской ВЭС 5 МВт в Краснодарском крае.

Началось строительство «Морского ветропарка» в Калининградской области мощностью 50 МВт.

Исполняется «Программа развития ветроэнергетики РАО "ЕЭС России"». На первом этапе (2003–2005 г.) начаты работы по созданию многофункциональных энергетических комплексов (МЭК) на базе ветрогенераторов и двигателей внутреннего сгорания. На втором этапе будет создан опытный образец МЭТ в посёлке Тикси — ветрогенераторы мощностью 3 МВт и двигатели внутреннего сгорания.

Несмотря на небольшой (в масштабах нашей страны) список действующих и запланированных ветропарков\*, интерес к использованию ветроустановок явно растёт, намечается тенденция к планомерному, масштабному внедрению этих источников теплоэнергии и электроснабжения.

---

\* С перечнем объектов, включенных в Федеральную целевую программу «Энергоэффективная экономика», а также с Постановлениями Правительства РФ, касающимися этой программы можно ознакомиться в официальных изданиях или найти их в интернете. Перечень сайтов, использованных в подготовке настоящего издания приводится в Приложении.

---

---

---

## Приложение IV Финансирование ветроэнергетического проекта

### Оценка проектных затрат

Перед началом работ необходимо подготовить технико-экономическое обоснование (ТЭО). В этом документе должны быть соблюдены все требования, которые предъявляются к этой стадии проектирования для любых других объектов: возможность, необходимость строительства ВЭУ, сравнение с альтернативными способами решения поставленной перед проектировщиком задачи на основании как экономических параметров (затраты на проектирование, строительство, эксплуатацию, ликвидацию; влияние на бюджеты разных уровней), так и социальных (создание или сокращение рабочих мест, изъятие земель, влияние на способы и характер ведения привычного образа жизни, здоровье и т.п.) и экологических (влияние на почву, гидросферу, атмосферу, на животный и растительный миры и т.д.) параметров.

ТЭО может быть подготовлено консультантами, на что требуется от 3 до 12 месяцев в зависимости от проекта. И только после завершения этой стадии работ и подтверждения наличия достаточных ветроэнергетических ресурсов производится определение возможных способов финансирования проекта.

### Стоимость ветроэнергетического проекта

Стоимость проекта складывается из двух основных категорий — первоначальных капитальных затрат и ежегодных эксплуатационных затрат. Рассмотрим возможные категории затрат по проекту.

## **Первоначальные капитальные затраты**

### **Затраты на предварительные исследования**

Они включают первоначальное проектирование и замер характеристик ветра для подтверждения достаточности ветроэнергетических ресурсов.

### **Затраты на получение разрешения на проектирование**

Здесь подразумеваются затраты на получение разрешения в отделе планирования, а также затраты по оценке экологического ущерба от реализации проекта.

### **Затраты по управлению проектом**

Такие затраты характерны не только для крупных, но и для сравнительно небольших проектов, когда часть расходов приходится на управление проектом.

### **Юридические затраты**

Если проект был в собственности кооператива, юридические затраты будут включать заключение индивидуальных контрактов, распределение акций и другие затраты.

### **Закупка ветроагрегатов**

Сюда входят затраты на закупку всего необходимого оборудования.

### **Затраты на создание инфраструктуры**

В этой категории учитываются расходы на прокладку кабелей, подъездной дороги, устройство фундамента, а также на создание тракта выдачи мощности. Для проектов большего масштаба в этих затратах учитывается прокладка подземных путей.

### **Затраты на установку, доставку и комиссионные**

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

### **Дополнительные затраты на гарантийный ремонт**

Возможна дополнительная плата за гарантийный ремонт отдельных частей ВЭУ.

### **Банковские расходы**

Если ветроэнергетический проект финансируется банком, то необходимо учесть банковские расходы.

### **Затраты на подключение к местной электросети**

Это относится к проектам крупного масштаба, которые будут подсоединены к местной сети энергоснабжения. Эти затраты могут включать стоимость трансформаторов, укладки кабелей и т.п. расходы.

## **Ежегодные эксплуатационные затраты**

### **Страховка**

Поставщик оборудования ветроустановки должен предоставить потребителю возможность страхования приобретаемого оборудования. Это очень важно, так как, если, например, после окончания гарантийного срока, определенного производителем ВЭУ, возникает техническая проблема или если произошло повреждение оборудования в результате попадания молнии и т.п., владелец системы не будет платить за ремонт только в том случае, если оборудование системы было застраховано.

Страхованием занимаются специализированные организации.

### **Арендные платежи за землю**

Если земля не является собственностью владельца ВЭУ, то ежегодные затраты будут включать арендные платежи собственнику земли.

### **Затраты на поддержание работоспособности и техническое обслуживание**

Оборудование ВЭУ нуждается в контроле и техническом обслуживании, при этом некоторые детали необходимо периодически заменять. Регулярность обслуживания зависит от масштаба проекта, но в большинстве случаев не превышает двух раз в год. Однако эти затраты могут быть значительными.

### **Проценты за кредит**

Если капитал на реализацию проекта был предоставлен, например, банком, то в ежегодные затраты включаются платежи по возврату кредита или проценты за кредит в той или иной форме.

### **Другие расходы**

Если речь идет о крупной ВЭУ, подключенной к электросети, то могут быть и дополнительные затраты, например, на потребление электричества из сети для запуска и возбуждения генератора. Для автономных ВЭС в этой категории могут учитываться стоимость топлива для резервного дизель-генератора, стоимость замены аккумуляторных батарей и тому подобные затраты.

Еще одна статья затрат должна быть принята во внимание на стадии технико-экономического обоснования — это стоимость демонтажа оборудования ВЭС, рекультивация земель и возвращение участка к максимально приближенному первоначальному состоянию.

## **Финансирование ветроэнергетического проекта**

Финансировать проекты строительства ВЭС могут как физические и юридические лица, так и общественные организации. Однако, если они не могут обеспечить необходимую для этого сумму, но нужно обратиться в банк.

При сооружении ВЭУ владелец может получать кредит в банке на реализацию проекта на общих условиях.

В том случае, если ВЭУ включена в Программу развития новых ВИЭ федерального или регионального уровня, то владелец может получить из бюджета некоторую часть от сметной стоимости проекта\*.

Для получения кредита в банке потенциальному заемщику необходимо собрать пакет документов для оценки проекта.

### **Типичная информация, которую необходимо предоставить банку для получения кредита**

— устав предприятия (со всеми изменениями);

---

\* В проекте закона «О поддержке возобновляемых источников энергии» речь шла о 15%.

- учредительный договор;
- свидетельство о государственной регистрации;
- бухгалтерская отчетность за три последних года\*;
- аудиторское заключение;
- список кредиторов и должников с расшифровкой дебиторской и кредиторской задолженности по срокам;
- справка об оборотах по расчетному счету за 12 месяцев;
- справка из налоговой службы (ГНИ) об отсутствии задолженности перед бюджетом и о счетах, открытых в других банках;
- расшифровка долгосрочных и краткосрочных финансовых вложений, кредитов и займов;
- заявка на кредит, подписанная заемщиком (руководителем организации или юридическим лицом), составляется в произвольной форме и должна раскрывать цель испрашиваемого кредита, срок возврата и предполагаемое обеспечение.

#### **Требования к заемщику**

Кроме того, для получения инвестиционного кредита в банке потенциальный заемщик должен отвечать следующим требованиям:

- вложение в проект собственных средств должно быть не менее 20–30% для инвестиционного кредитования (кредит на приобретение оборудования, транспортных средств, закупку сырья и комплектующих для производства) и не менее 40–50% для проектного финансирования (кредит на оборотные средства, закупку товаров);
- размер собственных средств предприятия должен быть больше суммы предполагаемого кредита;
- необходимо представить комплексное обеспечение, покрывающее основной долг и проценты по кредиту;
- бизнес-план прогнозов денежных потоков должен подтверждать возможность погашения кредита и процентов к коэффициентом покрытия не менее 1,5;
- годовой оборот предприятия должен минимум трехкратно превышать размер баланса.

---

\* Здесь отметим, что если срок деятельности предприятия менее трех лет, то вопрос кредитования будет решить очень сложно, ввиду невозможности проанализировать динамику движения денежных средств по балансу.

---

---

---

**Приложение V**  
**Федеральный закон**  
**«Об электроэнергетике»\***  
**(извлечения)**

*Принят Государственной Думой 21 февраля 2003 года*  
*Одобен Советом Федерации 12 марта 2003 года*

***Статья 3. Определение основных понятий***

Для целей настоящего Федерального закона используются следующие основные понятия: ...

— возобновляемые источники энергии — энергия солнца, энергия ветра, энергия вод (в том числе энергия сточных вод), за исключением случаев использования такой энергии на гидроаккумулирующих электроэнергетических станциях, энергия приливов, энергия волн водных объектов, в том числе водоемов, рек, морей, океанов, геотермальная энергия с использованием природных подземных теплоносителей, низкопотенциальная тепловая энергия земли, воздуха, воды с использованием специальных теплоносителей, биомасса, включающая в себя специально выращенные для получения энергии растения, в том числе деревья, а также отходы производства и потребления, за исключением отходов, полученных в процессе использования углеводородного сырья и топлива, биогаз, газ, выделяемый отходами производства и потребления на свалках таких отходов, газ, образующийся на угольных разработках...

***Статья 21. Полномочия Правительства Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государственного регулирования и контроля в электроэнергетике***

1. Правительство Российской Федерации в соответствии с законодательством Российской Федерации об электроэнергетике: ...

— определяет основные направления государственной политики в сфере энергосбережения;

---

\* от 26 марта 2003 года №35-ФЗ: по состоянию на 09.11.2007г.  
в ред. ФЗ №211-ФЗ от 30.12.2004; №232-ФЗ от 18.12.2006; №250-ФЗ от 04.11.2007

— утверждает основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики, содержащие целевые показатели объема производства и потребления электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии в совокупном балансе производства и потребления электрической энергии; план или программу мероприятий по достижению указанных целевых показателей;

— устанавливает правила, критерии и порядок квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии, как соответствующего целевым показателям, установленным в соответствии с основными направлениями государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики (далее — функционирующие на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированные генерирующие объекты). К генерирующим объектам, функционирующим на основе использования возобновляемых источников энергии, относятся также объекты, осуществляющие комбинированную выработку электрической и тепловой энергии, в случае, если указанные объекты используют возобновляемые источники энергии для выработки электрической и тепловой энергии;

— осуществляет поддержку использования возобновляемых источников энергии и стимулирование использования энергетических эффективных технологий в соответствии с бюджетным законодательством Российской Федерации;

— утверждает критерии для предоставления из федерального бюджета субсидий в порядке компенсации стоимости технологического присоединения генерирующих объектов с установленной генерирующей мощностью не более 25 МВт, признанных квалифицированными объектами в соответствии с положениями пункта 3 статьи 33 настоящего Федерального закона, функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии, лицам, которым такие объекты принадлежат на праве собственности или ином законном основании.

Правительство Российской Федерации распределяет между федеральными органами исполнительной власти полномочия в области государственного регулирования и контроля в электроэнергетике, предусмотренные пунктом 2 настоящей статьи...

2. Правительство Российской Федерации или уполномоченные им федеральные органы исполнительной власти осуществляют: ...

— определение источников и способов привлечения инвестиционных средств, вкладываемых Российской Федерацией в развитие электроэнергетики;

— утверждение порядка ведения реестра выдачи и погашения сертификатов, подтверждающих объем производства электрической энергии на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах;

— установление прибавляемой к равновесной цене оптового рынка надбавки для определения цены электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах;

— установление обязательного для покупателей электрической энергии на оптовом рынке объема приобретения электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах...

***Статья 32. Торговая система оптового рынка и порядок отношений между его субъектами. Ценообразование на оптовом рынке***

2. ...

Цена электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах, определяется путем прибавления к равновесной цене оптового рынка надбавки, устанавливаемой в определенном Правительством Российской Федерации порядке. Надбавка рассчитывается исходя из необходимости достижения установленных основными направлениями государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики целевых показателей объема производства и потребления электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах...

3. ...

Сетевые организации должны осуществлять компенсацию потерь в электрических сетях в первую очередь за счет приобретения электрической энергии, произведенной на квалифицированных ге-

нерирующих объектах, подключенных к сетям сетевых организаций и функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии...

**Статья 33. Особенности правового статуса и полномочия организаций коммерческой инфраструктуры**

3. Совет рынка осуществляет следующие функции: ...

— признание генерирующих объектов функционирующими на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированными генерирующими объектами;

— ведение реестра выдачи и погашения сертификатов, подтверждающих объем производства электрической энергии на основе использования возобновляемых источников энергии;

— осуществление контроля за соблюдением покупателями электрической энергии на оптовом рынке обязанности по приобретению определенного объема электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах, по цене, определяемой в порядке, установленном Правительством Российской Федерации...

4. В целях обеспечения государственного контроля за деятельностью совета рынка уполномоченный Правительством Российской Федерации федеральный орган исполнительной власти: ...

К исключительной компетенции наблюдательного совета рынка относятся: ...

— утверждение формы договора о присоединении к торговой системе оптового рынка, стандартных форм договоров, обеспечивающих осуществление торговли на оптовом рынке электрической энергией, мощностью, иными товарами и услугами, обращение которых осуществляется на оптовом рынке, в том числе обязанность по приобретению определенного объема электрической энергии, произведенной на функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии квалифицированных генерирующих объектах, по цене, определяемой в порядке, установленном Правительством Российской Федерации...

*Президент Российской Федерации В.ПУТИН  
Москва, Кремль  
4 ноября 2007 г.*

---

---

**Приложение VI**  
**Нормативно-правовое сопровождение**

УДК 001.4 : 620.9 : 006.354 Е00  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Нетрадиционная энергетика

ГОСТ Р 51237-98  
Ветроэнергетика  
Термины и определения

**Nontraditional power engineering.**  
**Wind power engineering.**  
**Terms and definitions**

*ОКС 27.180*

*ОКСТУ 3111, 3401*

*Дата введения 1999-07-01*

### **Предисловие**

1 ПОДГОТОВЛЕН И ВНЕСЕН АО НПО «Нетрадиционная электроэнергетика», ГосНИИ ЦАГИ

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 25 декабря 1998 г. №460

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

### **Введение**

Установленные в настоящем стандарте термины расположены в систематизированном порядке, отражающем систему понятий в области ветроэнергетики.

Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин.

В алфавитном указателе данные термины приведены отдельно с указанием номера статьи.

Приведенные определения можно при необходимости изменять, вводя в них производные признаки, раскрывая значение используемых в них терминов, указывая объекты, входящие в объем определяемого понятия. Изменения не должны нарушать объем и содержание понятий, определенных в настоящем стандарте.

Термины и определения общетехнических понятий, необходимые для пояснения текста стандарта, приведены в приложении А.

В стандарте приведены алфавитные указатели терминов на русском (приложение Б) и английском (приложение В) языках.

Стандартизованные термины выделены полужирным шрифтом, их краткие формы — светлым.

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт устанавливает термины и определения понятий в области ветроэнергетики.

Термины, установленные настоящим стандартом, обязательны для применения во всех видах документации и литературы по ветроэнергетике, входящих в сферу работ по стандартизации или использующих результаты этих работ.

Стандарт входит в комплекс нормативных документов по нетрадиционной энергетике, установленных ГОСТ Р «Нетрадиционная энергетика. Направления стандартизации. Основные положения».

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 24291–90 Электрическая часть электростанций и электрической сети. Термины и определения

## **3 Стандартизованные термины**

### **3.1 Общие понятия**

#### ***3.1.1 ветроэнергетика: Wind power***

Отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию

### ***3.1.2 ветровой кадастр: Wind cadaster***

Систематизированный свод сведений, характеризующий ветровые условия местности, составленный периодически или путем непрерывных наблюдений и дающий возможность количественной оценки энергии ветра и расчета ожидаемой выработки ветроэнергетическими установками

### ***3.1.3 ветровой потенциал: Wind potency***

Полная энергия ветрового потока какой-либо местности на определенной высоте над поверхностью земли.

#### ***3.1.3.1 валовой потенциал: Wind potency total***

Энергетический эквивалент ветрового потока какой-либо местности на определенной высоте над поверхностью земли

#### ***3.1.3.2 технический потенциал: Wind potency technical***

Часть валового потенциала, которая может быть полезно использована с помощью современного ветроэнергетического оборудования с учетом требований социально-экологического характера

#### ***3.1.3.3 экономический потенциал: Wind potency economic***

Часть технического потенциала, использование которого экономически эффективно в современных условиях с учетом требований социально-экономического характера

### ***3.1.4 ветроэнергетическая установка (ВЭУ): Wind power plant***

Комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии (механическую, тепловую, электрическую и др.)

#### ***3.1.4.1 ветромеханическая установка: Wind mechanical plant***

ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в механическую для привода различных машин (насос, компрессор и т. д.)

#### ***3.1.4.2 ветротепловая установка: Wind thermal plant***

ВЭУ, предназначенная для непосредственного преобразования ветровой энергии в тепловую

#### ***3.1.4.3 ветроэлектрическая установка: Wind electrical plant***

ВЭУ, предназначенная для преобразования ветровой энергии в электрическую с помощью системы генерирования электроэнергии

#### **3.1.4.4 гибридные ВЭУ: *Combine wind systems***

Системы, состоящие из ВЭУ и какого-либо другого источника энергии (дизельного, бензинового, газотурбинного двигателей, фотоэлектрических, солнечных коллекторов, установок емкостного, водородного аккумулирования сжатого воздуха и т. п.), используемых в качестве резервного или дополнительного источника электроснабжения потребителей

#### **3.1.5 ветроэлектрическая станция (ВЭС): *Wind electrical power station***

Электростанция, состоящая из двух и более ветроэлектрических установок, предназначенная для преобразования энергии ветра в электрическую энергию и передачу ее потребителю

#### **3.1.6 ветроагрегат (ВА): *Wind unit***

Система, состоящая из ветродвигателя, системы передачи мощности и приводимой ими в движение машины (электромашинного генератора, насоса, компрессора и т. п.)

##### **3.1.6.1 сетевой ветроэлектрический агрегат: *Wind unit for grid electric***

ВА с электромашинным генератором, предназначенный для работы параллельно с электрическими сетями, мощность которых является бесконечно большой или большей, но соизмеримой по сравнению с мощностью ВА

##### **3.1.6.2 автономный ветроэлектрический агрегат: *Wind unit autonomic***

ВА с электромашинным генератором, предназначенный для электроснабжения потребителей, не имеющих связи с электрической сетью

### **3.2 Составные части ВА и его характеристики**

#### **3.2.1 ветродвигатель (ВД): *Wind motor***

Устройство для преобразования ветровой энергии в механическую энергию вращения ветроколеса

#### **3.2.2 система передачи мощности (СПМ): *Transmission power system***

Комплекс устройств для передачи мощности от вала ветроколеса к валу соответствующей машины ветроагрегата с повышением или без повышения частоты вращения вала этой машины

### ***3.2.3 система генерирования электроэнергии (СГЭЭ): Generator system***

Электромашинный генератор и комплекс устройств (преобразователь, аккумулятор и т. д.) для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии

### ***3.2.4 энергетическая характеристика ВА: Wind power curve***

Размерная зависимость выходной мощности ВА от скорости ветра незаторможенного потока

### ***3.2.5 рабочие характеристики ВА: Performance curve***

Размерные характеристики зависимости момента вращения и мощности от частоты вращения для ряда постоянных скоростей ветра

### ***3.2.6 производительность ВА: Capacity***

Зависимость объема продукции, производимого ВА за единицу времени, от средней скорости ветра

### ***3.2.7 установленная мощность ВА: Maximum electrical output***

Паспортная мощность машины на выходном валу ВА

### ***3.2.8 номинальная мощность ВА: Rated electrical output***

Максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитан ВА в длительном режиме работы

### ***3.2.9 общий коэффициент полезного действия ВА: Efficiency total***

Отношение производимой ВА полезной энергии к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса

### ***3.2.10 скорость старгивания с места: Start-up speed***

Минимальная скорость ветра, при которой ветроколесо начинает вращение без нагрузки

### ***3.2.11 минимальная рабочая скорость ветра: Cut-in-wind speed***

Минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход)

### ***3.2.12 расчетная скорость ветра: Rated wind speed***

Минимальная скорость ветра, при которой ВА развивает номинальную мощность; скорость, соответствующая началу регулирования

**3.2.13 максимальная рабочая скорость ветра: *Cut-out-wind speed***

Скорость ветра, при которой расчетная прочность ВА позволяет производить электроэнергию без повреждений

**3.2.14 буревая расчетная скорость ветра: *Maximum design wind speed***

Максимальная скорость ветра, которую может выдержать остановленный ВА без разрушений

**3.2.15 число часов (коэффициент) использования номинальной мощности: *Efficiency rated output***

Отношение производительности ВА за расчетный период времени к номинальной мощности ВА

**3.3 Ветродвижитель, его составные части и характеристики**

**3.3.1 горизонтально-осевой ВД: *Horizontal axial wind motor***

ВД, у которого ось вращения ветроколеса расположена параллельно или почти параллельно вектору скорости ветра

**3.3.2 вертикально-осевой ВД: *Vertical axial wind motor***

ВД, у которого ось вращения расположена перпендикулярно вектору скорости ветра

**3.3.3 ветроколесо (ВК): *Wind rotor***

Лопастная система ветродвижателя, воспринимающая аэродинамические нагрузки от ветрового потока и преобразующая энергию ветра в механическую энергию вращения ветроколеса

**3.3.3.1 диаметр ВК: *Rotor diameter***

Диаметр окружности, описываемый наиболее удаленными от оси вращения ВК частями лопастей

**3.3.3.2 ометаемая площадь ВК: *Swept area***

Геометрическая проекция площади ВК на плоскость, перпендикулярную вектору скорости ветра

**3.3.3.3 лопасть ВК: *Blade***

Составная часть ВК, создающая вращающий момент

**3.3.3.4 кривизна лопасти: *Blade twist***

Изменение угла установки хорды лопасти по ее длине от корневого до периферийного сечения

### **3.3.3.5 угол установки лопасти: *Pitch angle of the blade***

Угол между хордой профиля лопасти и плоскостью или поверхностью вращения ВК

### **3.3.3.6 втулка ВК: *Hub***

Элемент ВК, предназначенный для крепления лопастей и передачи момента вращения к СПМ ветроагрегата

### **3.3.3.7 угол конуса ВК: *Cone angle***

Угол, на который отклонены лопасти ВК от плоскости, перпендикулярной его оси вращения

### **3.3.3.8 угол установки оси ВК: *Tilt angle***

Отклонение угла установки оси ВК от горизонтали

### **3.3.3.9 частота вращения ВК: *Rotation speed***

Угол, проходимый лопастью ВК за единицу времени, измеренный в оборотах в единицу времени или в радианах

### **3.3.4 аэродинамический тормоз ВД: *Air brake***

Тормоз, действие которого основано на использовании аэродинамических сил, воздействующих на поворотные лопасти или ее поворотные части

### **3.3.5 механический тормоз ВД: *Mechanical brake***

Механическая тормозная система, использующая силы трения для снижения частоты вращения или остановки ротора ВД

### **3.3.6 главный тормоз ВД: *Head brake***

Тормоз, который обеспечивает остановку агрегата при отсутствии аварии или поддержание номинальной частоты вращения ВК при отключении ВА от потребителя (противоразгонный режим)

### **3.3.7 аварийный тормоз ВД: *Emergency brake***

Тормоз, который обеспечивает полную безаварийную остановку ВА при его отключении от потребителя и отказе главного тормоза

### **3.3.8 головка (гондола) ВД: *Nacelle***

Составная часть ВА с горизонтально-осевым ВД, в котором размещены элементы опор ВК, СПМ, СГЭЭ, система ориентации ВК на направление ветра и другие элементы ВД

### ***3.3.9 система ориентации ВД: Yaw system***

Комплекс устройств горизонтально-осевого ВД, предназначенный для установки оси вращения ВК в соответствии с направлением ветра в определенных пределах в каждый момент времени

### ***3.3.10 система регулирования ВД: Power regulation system***

Комплекс устройств, обеспечивающий регулирование в требуемых пределах частоты вращения и нагрузки ВД при изменении скорости ветра в рабочем диапазоне

### ***3.3.11 Характеристики ВД***

#### ***3.3.11.1 аэродинамические характеристики ВД: Air dynamic characteristics***

Безразмерные зависимости момента вращения, развиваемой мощности (коэффициента использования энергии ветра) и силы лобового давления на ВК от частоты его вращения и скорости ветра (быстроходности ВК)

#### ***3.3.11.2 регулировочные характеристики ВД: Characteristics regulation***

Размерная зависимость частоты вращения ВК от средней скорости ветра при холостом ходе и номинальной нагрузке ВА

#### ***3.3.11.3 коэффициент использования энергии ветра: Output coefficient***

Отношение величины механической энергии, развиваемой ВК, и полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса

#### ***3.3.11.4 полная энергия ветрового потока: Wind energy total***

Энергия ветрового потока, проходящего через ометаемую площадь ВК, отнесенная к незаторможенному потоку перед ВК

#### ***3.3.11.5 быстроходность (число модулей) ВК: High-speed running factor***

Отношение окружной скорости конца лопасти к скорости ветра

##### ***3.3.11.5.1 номинальное число модулей: Nominal high-speed running factor***

Число модулей, соответствующее максимальному значению коэффициента использования энергии ветра

##### ***3.3.11.5.2 синхронное число модулей: Synchronous highspeed running factor***

Число модулей, при котором относительный момент (коэффициент использования энергии ветра) равен нулю

### **3.3.11.6 аэродинамическая нагрузка ВК: *Aerodynamical load***

Составляющая аэродинамических сил, действующих на ВК в направлении ветра

#### **3.3.11.6.1 момент вращения ВК: *Moment of the wind wheel***

Момент вращения, образующийся в результате возникновения подъемной силы на профилях лопастей ВК при их взаимодействии с ветровым потоком

#### **3.3.11.6.2 момент трогания с места: *Starting moment of the wind wheel***

Минимальный момент вращения на ВК, достаточный для преодоления инерции покоя ВД

#### **3.3.11.6.3 номинальный момент ВК: *Nominal moment of the wind wheel***

Момент вращения ВК, соответствующий максимальному значению коэффициента использования энергии ветра

#### **3.3.11.6.4 сила лобового давления на ВК:**

Суммарная аэродинамическая нагрузка на поверхность лопастей ВК, образующаяся в результате лобового сопротивления профиля лопасти ветровому потоку

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**(справочное)**

**Термины и определения характеристик ветра, используемых в ветроэнергетике**

### ***A.1 ветер: Wind***

Движение воздуха относительно земной поверхности, вызванное неравномерным распределением атмосферного давления и характеризующееся скоростью и направлением

### ***A.2 средняя скорость ветра: Average wind speed***

Значение горизонтальной составляющей скорости ветра за выбранный промежуток времени, определяемый отношением суммы измеренных значений мгновенной скорости ветра к числу измерений

Примечание — Средняя скорость ветра может определяться за минуту, час, сутки, месяц, год и др.

### ***A.3 среднегодовая скорость ветра: Average annual wind speed***

Средняя скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности

***A.4 вертикальный профиль ветра: Wind speed profile***

Зависимость скорости ветра по высоте в приземном слое, определяемая для конкретной местности на основе измерений скорости ветра на различной высоте относительно земной поверхности

***A.5 повторяемость скоростей ветра: Probability function of the wind speed***

Продолжительность действия различных градаций скоростей ветра в часах или процентах за год или другой период времени в конкретной местности, на определенной высоте относительно земной поверхности

***A.6 распределение скоростей ветра Wind distribution***

Функция статистической закономерности частот вариаций скоростей ветра за определенный период времени, аппроксимирующая статистические данные наблюдений

***A.7 распределение скоростей ветра по Вейбуллу: Weibull density function***

Наиболее часто используемая в ветроэнергетике аналитическая двухпараметрическая зависимость, выражающая вероятную продолжительность действия скоростей ветра различных значений, параметры которой варьируют в зависимости от характера местности

***A.8 роза скоростей ветра: Wind rose***

Векторная диаграмма, характеризующая режим ветра в данном пункте, с длинами лучей, расходящихся от центра в разных направлениях относительно стран света, пропорциональными повторяемости скоростей ветра для этих направлений

***A.9 удельная мощность ветра: Specific power of the air stream***

Мощность ветра, отнесенная к площади 1 м<sup>2</sup>, пропорциональная сумме кубов мгновенных скоростей ветра и определенная для заданной высоты над уровнем земной поверхности

***A.10 роза энергии ветра: Wind energy rose***

Векторная диаграмма, характеризующая распределение удельной мощности ветра по направлениям за определенный период времени, с длинами лучей, расходящихся от центра в разных направлениях относительно стран света, пропорциональными удельной мощности ветра для этих направлений

## Приложение Б

(справочное)

### Алфавитный указатель терминов на русском языке

Агрегат ветроэлектрический автономный	3.1.6.2
Агрегат ветроэлектрический сетевой	3.1.6.1
Быстроходность (число модулей) ВК	3.3.11.5
ВА	3.1.6
ВД	3.2.1
ВД вертикально-осевой	3.3.2
ВД горизонтально-осевой	3.3.1
Ветер	А.1
Ветроагрегат	3.1.6
Ветродвигатель	3.2.1
Ветроколесо	3.3.3
Ветроэнергетика	3.1.1
ВК	3.3.3
Втулка ВК.	3.3.3.6
ВЭС	3.1.5
ВЭУ	3.1.4
ВЭУ гибридные	3.1.4.4
Головка (гондола) ВД	3.3.8
Диаметр ВК	3.3.3.1
Кадастр ветровой	3.1.2
Коэффициент использования энергии ветра	3.3.11.3
Коэффициент полезного действия ВА общий	3.2.9
Крутка лопасти	3.3.3.4
Лопасть ВК.	3.3.3.3
Момент ВК номинальный	3.3.11.6.3
Момент вращения ВК	3.3.11.6.1
Момент трогания с места	3.3.11.6.2
Мощность ВА номинальная	3.2.8
Мощность ВА установленная	3.2.7
Мощность ветра удельная	А.9
Нагрузка ВК аэродинамическая	3.3.11.6
Площадь ВК ометаемая	3.3.3.2
Повторяемость скоростей ветра	А.5
Потенциал валовой	3.1.3.1
Потенциал ветровой	3.1.3
Потенциал технический	3.1.3.2
Потенциал экономический	3.1.3.3
Производительность ВА.	3.2.6
Профиль ветра вертикальный	А.4
Распределение скоростей ветра	А.6
Распределение скоростей ветра по Вейбуллу	А.7
Роза скоростей	А.6
Роза энергии ветра.	А.10
СГЭЭ	3.2.3
Сила лобового давления на ВК.	3.3.11.6.4
Система генерирования электроэнергии.	3.2.3
Система ориентации ВД.	3.3.9

Система передачи мощности.	3.2.2
Система регулирования ВД	3.3.10
Скорость ветра буревая расчетная	3.2.14
Скорость ветра максимальная рабочая	3.2.13
Скорость ветра минимальная рабочая	3.2.11
Скорость ветра расчетная	3.2.12
Скорость ветра среднегодовая	A.3
Скорость ветра средняя	A.2
Скорость страгивания с места	3.2.10
СПМ	3.2.2
Станция ветроэлектрическая	3.1.5
Тормоз ВД аварийный	3.3.7
Тормоз ВД аэродинамический	3.3.4
Тормоз ВД главный	3.3.6
Тормоз ВД механический	3.3.5
Угол конуса ВК	3.3.3.7
Угол установки лопасти	3.3.3.5
Угол установки оси ВК	3.3.3.8
Установка ветромеханическая	3.1.4.1
Установка ветротепловая	3.1.4.2
Установка ветроэлектрическая	3.1.4.3
Установка ветроэнергетическая	3.1.4
Характеристика ВА энергетическая.	3.2.4
Характеристики ВА рабочие	3.2.5
Характеристики ВД аэродинамические	3.3.11.1
Характеристики ВД регулировочные	3.3.11.2
Частота вращения ВК	3.3.3.9
Число модулей номинальное	3.3.11.5.1
Число модулей синхронное	3.3.11.5.2
Число часов (коэффициент) использования номинальной мощности	3.2.15
Энергия ветрового потока полная	3.3.11.4

## Приложение В

### (справочное)

#### Алфавитный указатель терминов на английском языке

Aerodynamical load	3.3.11.6	Rotation speed	3.3.3.9
Air brake	3.3.4	Rotor diameter	3.3.3.1
Air dynamic characteristics	3.3.11.1	Specific power of the air stream	A.9
Average annual wind speed	A.3	Starting moment of the wind wheel	3.3.11.6.2
Average wind speed	A.2	Start-up speed	3.2.10
Blade	3.3.3.3	Swept area	3.3.3.2
Blade twist	3.3.3.4	Synchronous high-speed running factor	3.3.11.5.2
Capacity	3.2.6	Tilt angle	3.3.3.8
Characteristics regulation	3.3.11.2	Transmission power system	3.2.2
Combine wind systems	3.1.4.4	Vertical axial wind motor	3.3.2
Cone angle	3.3.3.7	Weibull density function	A.7
Cut-in-wind speed	3.2.11	Wind	A.1

Cut-out-wind speed	3.2.13	Wind cadaster	3.1.2
Efficiency rated output	3.2.15	Wind distribution	A.6
Efficiency total	3.2.9	Wind electrical plant	3.1.4.3
Emergency brake	3.3.7	Wind electrical power station	3.1.5
Generator system	3.2.3	Wind energy rose	A.10
Head brake	3.3.6	Wind energy total	3.3.11.4
High-speed running factor	3.3.11.5	Wind mechanical plant	3.1.4.1
Horizontal axial wind motor	3.3.1	Wind motor	3.2.1
Hub	3.3.3.6	Wind potency	3.1.3
Maximum design wind speed	3.2.14	Wind potency economic	3.1.3.3
Maximum electrical output	3.2.7	Wind potency technical	3.1.3.2
Mechanical brake	3.3.5	Wind potency total	3.1.3.1
Moment of the wind wheel	3.3.11.6.1	Wind power	3.1
Nacelle	3.3.8	Wind power curve	3.2.4
Nominal high-speed running factor	3.3.11.5.1	Wind power plant	3.1.4
Nominal moment of the wind wheel	3.3.11.6.3	Wind rose	A.8
Output coefficient	3.3.11.3	Wind rotor	3.3.3
Performance curve	3.2.5	Wind speed profile	A.4
Pitch angle of the blade	3.3.3.5	Wind thermal plant	3.1.4.2
Power regulation system	3.3.10	Wind unit	3.1.6
Probability function of the wind speed	A.5	Wind unit autonomic	3.1.6.2
Rated electrical output	3.2.8	Wind unit for grid electric	3.1.6.1
Rated wind speed	3.2.12	Yaw system	3.3.9

## Приложение Г (информационное) Библиография

[1] МЭК 50 (602)–83 Международный электротехнический словарь. Глава 602. Производство, передача и распределение электрической энергии. Производство электрической энергии

Ключевые слова: энергетика нетрадиционная, ветроэнергетика, установки энергетические, ветроагрегаты лопастные, термины, определения

УДК 001.4:620.9:006.354 Е10  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Нетрадиционная энергетика

ГОСТ Р 51990-2002  
Ветроэнергетика  
Установки ветроэнергетические  
Классификация

Nontraditional power engineering.  
Wind power engineering.  
Wind turbines.  
Classification

*ОКС 27.180*

*ОКП 34 8793*

*Дата введения 2003—07—01*

### **Предисловие**

1 РАЗРАБОТАН ГосНИЦ ЦАГИ, АО ВИЭН и ВНИИНМАШ  
ВНЕСЕН Управлением научно-технического прогресса Мин-  
энерго России

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Гос-  
стандарта России от 25 декабря 2002 г. №515-ст

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

### **Введение**

Настоящий стандарт разработан с целью нормативного обеспе-  
чения проектирования, производства и эксплуатации ветроэнерге-  
тических установок (ВЭУ). Положения стандарта направлены на  
упорядочение и единообразие требований к классификации ВЭУ.

В настоящее время многие российские предприятия активно  
разрабатывают и осваивают производство ВЭУ различной мощно-  
сти и назначения.

Целью настоящего стандарта является установление единых  
требований к ВЭУ согласно их классификации.

Настоящий стандарт отвечает потребностям народного хозяйст-  
ва и направлен на развитие нетрадиционной энергетика как альтер-

нативы использованию органического топлива при выработке энергии различных видов.

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт распространяется на ветроэнергетические установки (ВЭУ) с горизонтально-осевыми ветродвигателями (ВД), предназначенные для преобразования кинетической энергии ветра в энергию других видов, и устанавливает основные признаки их классификации.

Положения настоящего стандарта рекомендуются к применению объединениями и предприятиями, в том числе союзами, ассоциациями, концернами, акционерными обществами, межотраслевыми, региональными и другими объединениями независимо от форм собственности и подчинения, расположенными на территории Российской Федерации.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использована ссылка на ГОСТ Р 51237—98 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения

## **3 Определения**

В настоящем стандарте использованы определения, приведенные в ГОСТ Р 51237.

## **4 Классификация**

4.1 ВЭУ классифицируют:

- по виду вырабатываемой энергии;
- по мощности;
- по областям применения;
- по назначению;
- по признаку работы с постоянной или переменной частотой вращения ветроколеса (ВК);
- по способам управления;
- по структуре системы генерирования энергии.

4.2 ВЭУ в зависимости от вида вырабатываемой энергии подразделяют на две группы: механические и электрические. Электрические ВЭУ, в свою очередь, подразделяют на ВЭУ постоянного и переменного тока.

4.3 ВЭУ в зависимости от мощности подразделяют на четыре группы:

- а) большой мощности — свыше 1 МВт;
- б) средней мощности — от 100 кВт до 1 МВт;
- в) малой мощности — от 5 до 99 кВт;
- г) очень малой мощности — менее 5 кВт.

4.4 В зависимости от области применения механические ВЭУ подразделяют на две подгруппы: ветронасосные и ветросиловые согласно таблице 1.

Таблица 1 — Классификация механических ВЭУ по областям применения

Наименование подгруппы	Признак	Область применения	Применяемая система				
			регулирования ВК	передачи мощности	нагрузки	автоматического управления	
Ветро-насосные	Работа ВЭУ с насосами	Водо-снабжение, орошение, осушение земель, подъем воды и др.	Частота вращения ВК	Прямое центробежное — поворотом лопастей. Прямое аэродинамическое — выводом ВК из-под ветра	Пневматическая	Насосы: центробежные, струйные, эрлифты	Залив центробежных насосов. Контроль уровня заполнения водой резервных емкостей
					Электрическая	Насосы: центробежные, вибрационные, водоструйные, погружные и плавающие на понтоне	
					Механическая	Насосы: поршневые, штанговые, водо-подъемники	
Ветро-силовые	Работа ВЭУ с промышленными и бытовыми механизмами	Механизация трудоемких процессов сельскохозяйственных и других работ	Частота вращения ВК	Прямое центробежное — поворотом лопастей. Прямое аэродинамическое — выводом ВК из-под ветра. Непрямое центробежно-аэродинамическое — поворотом лопастей стабилизаторами	Механическая с отбором мощности от нижнего редуктора	Рабочие машины	—

4.5 Электрические ВЭУ постоянного тока подразделяют на три подгруппы: ветрозарядные, гарантированного питания и негарантированного питания согласно таблице 2.

**Таблица 2 —**  
**Классификация электрических ВЭУ постоянного тока по областям применения**

Наименование подгруппы	Признак	Область применения	Применяемая система				
			регулирования ВК		передачи мощности	нагрузки	автоматического управления
Ветрозарядные	Работа ВЭУ на заряд аккумуляторных батарей (АБ)	Зарядка АБ	Частота вращения ВК	Прямое центробежное — поворотом лопастей. Прямое аэродинамическое — выводом ВК из-под ветра	ВК устанавливают непосредственно на вал генератора, применение мультипликатора	Нагрузка питается от АБ	Защита АБ от перезаряда и глубокого разряда
Гарантированного питания	Работа ВЭУ параллельно с АБ	Гарантированное снабжение электроэнергией потребителей	Частота вращения ВК	Прямое центробежное — поворотом лопастей. Прямое аэродинамическое — выводом ВК из-под ветра	ВК устанавливают непосредственно на вал генератора	Нагрузка питается одновременно или отдельно от двух источников энергии: ВК и АБ	Параллельная работа ВЭУ и АБ. Защита АБ от перезаряда и глубокого разряда
Негарантированного питания	Работа ВЭУ без АБ	Электропитание мало-мощных потребителей в местах с устойчивыми ветрами и в экстремальных условиях	Частота вращения ВК	Прямое центробежное — поворотом лопастей. Прямое аэродинамическое — выводом ВК из-под ветра	ВК устанавливают непосредственно на вал генератора	Нагрузка питается через блок управления, имеющий регулятор напряжения	Регулятор напряжения, защита от токов короткого замыкания

4.6 Электрические ВЭУ переменного тока подразделяют по назначению, управлению и структуре системы генерирования энергии согласно таблице 3.

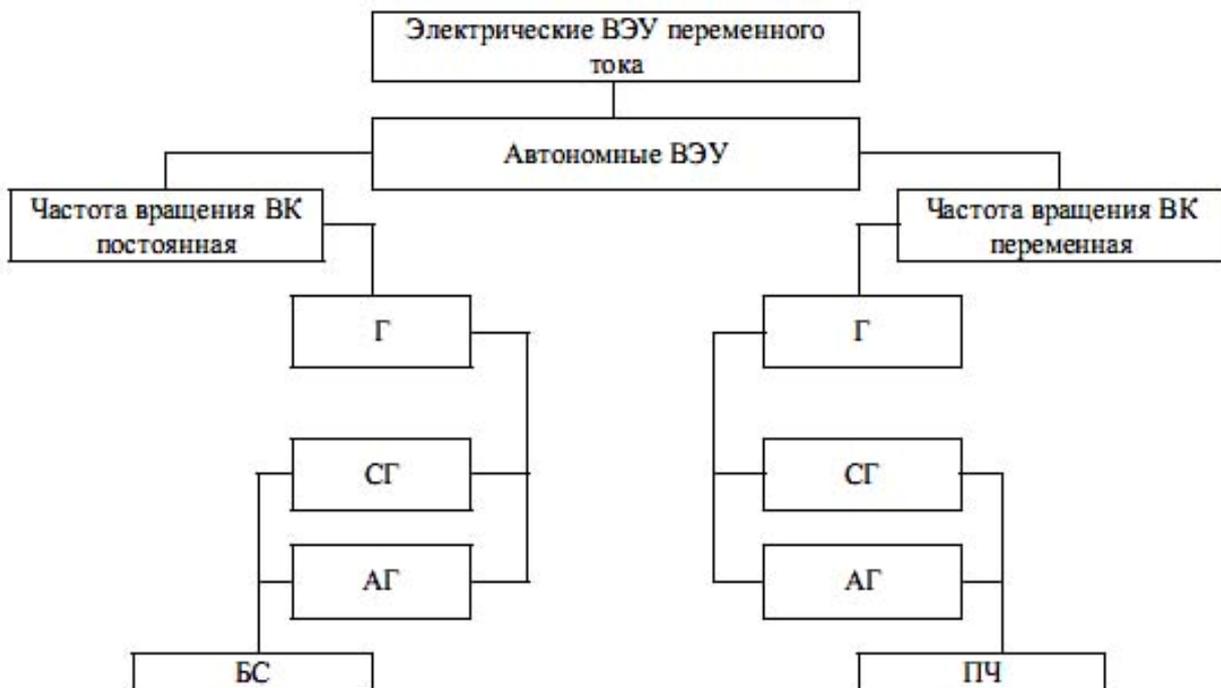
**Таблица 3 — Классификация электрических ВЭУ переменного тока по назначению, управлению и структуре системы генерирования энергии (схемы классификации приведены на рисунках 2—4)**

Наименование подгруппы	Классификация по назначению		Классификация по способу управления		Классификация по структуре системы генерирования	
	Признак	Назначение	Признак режима работы ВЭУ	Способ управления	Признак режима работы ВЭУ	Состав системы генерирования энергии
Автономные	Работа ВЭУ индивидуально (автономно)	Источники электропитания потребителей, не связанные с электрической сетью, отличающиеся сравнительно низкими значениями коэффициента использования установленной мощности	Частота вращения ВК постоянная	Регулированием ВК и балластным сопротивлением (раздельно или совместно)	Частота вращения ВК постоянная	Синхронные или асинхронные регулируемые или нерегулируемые генераторы, балластное сопротивление
			Частота вращения ВК переменная	Регулированием ВК и преобразователем частоты (раздельно или совместно)	Частота вращения ВК переменная	Синхронные или асинхронные регулируемые или нерегулируемые генераторы, преобразователи частоты
Гибридные	Работа ВЭУ параллельно с независимыми электростанциями соизмеримой мощности (дизель-генераторы, малые ГЭС и др.)	Источники электропитания для бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией номинальной мощности	Частота вращения ВК постоянная	Совместным и раздельным регулированием параллельно работающих электростанций	Частота вращения ВК постоянная	Синхронный генератор
			Частота вращения ВК переменная	Совместным и раздельным регулированием параллельно работающих электростанций и преобразователей частоты	Частота вращения ВК переменная	Синхронный генератор и преобразователь частоты или машина двойного питания
Сетевые	Работа ВЭУ параллельно с мощной электрической сетью	Источники получения и выдачи в электрическую сеть максимально возможной выработанной электроэнергии	Частота вращения ВК постоянная	Регулированием ВК	Частота вращения ВК постоянная	Синхронный или асинхронный генератор
			Частота вращения ВК переменная	Регулированием ВК и преобразователем частоты (раздельно или совместно)	Частота вращения ВК переменная	Асинхронный генератор и преобразователь частоты или синхронный генератор и преобразователь частоты, или машина двойного питания

Общая схема классификации ВЭУ приведена на рисунке 1. Схемы классификации электрических ВЭУ переменного тока показаны на рисунках 2–4.



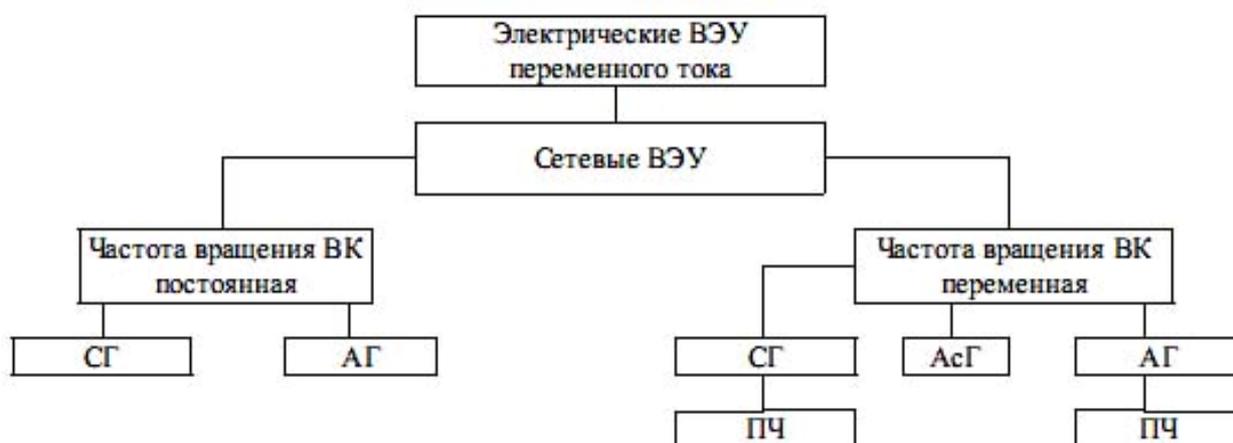
Рисунок 1 — Общая классификация ВЭУ



Г — генератор; СГ — синхронный генератор; АГ — асинхронный генератор;  
 БС — балластное сопротивление; ПЧ — преобразователь частоты  
 Рисунок 2 — Структурная схема автономных ВЭУ



СГ — синхронный генератор; АсГ — асинхронизированный генератор;  
 ПЧ — преобразователь частоты  
 Рисунок 3 — Структурная схема системных ВЭУ



СГ — синхронный генератор; АГ — асинхронный генератор;  
 АсГ — асинхронизированный генератор; ПЧ — преобразователь частоты  
 Рисунок 4 — Структурная схема сетевых ВЭУ

Особенности аэродинамики, регулирования, управления и систем передачи мощности ветродвигателей ВЭУ приведены в приложении А.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### Особенности аэродинамики, регулирования и систем передачи мощности ветродвигателей классифицируемых ВЭУ

#### А.1 Механические ВЭУ

Ветронасосные ВЭУ в зависимости от быстроходности ВД и типа насоса характеризуются большим разнообразием применяемых систем передачи мощностей (СПМ).

При пневматической СПМ ВК приводит во вращение компрессор, а сжатый им воздух используют для привода насосов или непо-

средственно для подъема воды. В первом случае между компрессором и насосом устанавливают пневматический двигатель (турбину), во втором — сам воздух используют в качестве рабочего тела, осуществляющего подъем воды путем ее вытеснения (насосы замещения) или эжектирования.

Электрическая СПМ обычно состоит из генератора, приводимого во вращение ВК, электрического двигателя насоса, питающих проводов, устройства регулирования напряжения, защиты генератора и двигателя от перегрева и токов короткого замыкания. Чаще всего используют трехфазные асинхронные генераторы переменного тока с самовозбуждением от конденсаторов короткозамкнутого асинхронного двигателя центробежного насоса и быстроходные (двух- и трехлопастные) ВД. Запуск электродвигателя насоса осуществляют одним из трех способов: подключением двигателя к возбужденному генератору, работающему на холостом ходу; замыканием цепи возбуждения генератора, к зажиму которого заранее присоединен двигатель; частотным пуском двигателя. При этом перед пуском двигатель должен быть присоединен к зажимам генератора, а генератор должен начинать работать при замкнутой цепи возбуждения.

Механические СПМ применяют чаще всего для привода поршневых, штанговых насосов, а также ковшовых и ленточных водоподъемников от ВД малой быстроходности, обладающих большим моментом страгивания. Для привода водоструйных насосов и водоподъемников инерционного типа используют ВД большой быстроходности.

Ветросиловые ВЭУ агрегируют с рабочими машинами только посредством механических СПМ с отбором мощности от нижнего редуктора. Применяют ВД разной быстроходности с различными способами регулирования частоты вращения ВК. Основное требование к системе регулирования — надежное ограничение частоты вращения ВК во всем рабочем диапазоне скоростей ветра на уровне, определяемом прочностью конструкции ВК. Суммарная нагрузка регламентируется на уровне номинальной путем подключения в работу части рабочих машин.

## **А.2 Электрические ВЭУ постоянного тока (ветрозарядные, гарантированного и негарантированного питания)**

Ветрозарядные ВЭУ работают только на заряд аккумуляторных батарей (АБ) и могут иметь несколько систем АБ, каждая из кото-

---

рых поочередно работает в режиме заряда и разряда (когда одна система АБ питает нагрузку, другая заряжается). Выполняют установки обычно по безредукторной схеме с применением быстроходных ВД и генераторов переменного тока. Такие установки снабжают простейшей автоматикой, обеспечивающей автоматическое переключение АБ с одного режима работы на другой и их защиту от перезаряда и глубокого разряда.

ВЭУ гарантированного питания работают параллельно с АБ. Исходя из этого, они снабжаются специальными системами автоматического управления, обеспечивающими работу ВЭУ в зависимости от изменения скоростей ветра и внешней нагрузки в каждом из следующих режимов:

- 1) ветроагрегат (ВА) питает внешнюю нагрузку без АБ;
- 2) ВА заряжает АБ без внешней нагрузки;
- 3) ВА заряжает АБ и одновременно питает внешнюю нагрузку;
- 4) ВА и АБ работают параллельно на внешнюю нагрузку;
- 5) АБ питает внешнюю нагрузку без ВА.

Таким образом, АБ работает в смешанном режиме, переходящем с режима заряд–разряд в периоды отсутствия внешней нагрузки или ветра на режим постоянного подзаряда (буферный режим) при наличии достаточного ветра и внешней нагрузки.

ВЭУ негарантированного питания работают без АБ вместе с блоком управления, обеспечивающим стабильное напряжение на выходе. Такие ВЭУ имеют мощность от нескольких десятков до нескольких сотен ватт. ВК устанавливают непосредственно на вал генератора.

Во всех случаях установки этого типа должны иметь системы регулирования частоты вращения ВК. Никаких специфических требований к аэродинамике ВК не предъявляют. Мощность внешней нагрузки регламентируется — она не должна превышать номинальную мощность ВЭУ.

### **А.3 Электрические ВЭУ переменного тока (автономные, гибридные и сетевые)**

Принципы их использования и способы управления отличаются друг от друга. В первом случае ВЭУ рассчитывают для работы изолированно на собственную электрическую сеть с целью снабжения энергией заданного потребителя; во втором — для работы параллельно с другими энергетическими установками соизмеримой мощности (дизель–генераторы, малые ГЭС и др.) на общую, ими обра-

зованную, сеть; в третьем — для работы непосредственно на электрическую сеть несоизмеримо большей мощности. Эффект несоизмеримо большей мощности здесь реализуется при отношении  $N_c/N_{ВЭУ}$  свыше 8–10, независимо от их абсолютных значений.

Особенностью всех установок ВЭУ этой группы при применении соответствующего регулирования ВК и определенной системы генерирования электрической энергии (СГЭЭ), обеспечивающей преобразование механической энергии вращающегося ВК в электрическую энергию промышленной частоты и напряжения, является то, что они могут эксплуатироваться в двух режимах: при переменной частоте вращения ВК, что позволяет получить максимально возможную выработку энергии, и при постоянной частоте вращения ВК, что позволяет упростить СГЭЭ при некотором уменьшении выработки энергии. Режим переменной частоты вращения ВК используют при скоростях ветра меньших расчетного значения ( $v < v_p$ ), а режим постоянной частоты вращения ВК — либо во всем диапазоне рабочих скоростей ветра, либо только при  $v \geq v_p$ .

В установках автономного типа мощность нагрузки потребителя строго регламентируют. Она не должна превышать номинальную мощность ВЭУ. Поэтому статической перегрузки трансмиссии по моменту вращения при  $v > v_p$  не будет.

Никаких специальных требований к аэродинамике ВЭУ не предъявляют. Режим постоянной частоты вращения ВК обеспечивается регулятором частоты вращения ВК, а режим переменной частоты вращения ВК — системой СГЭЭ с использованием балластного сопротивления. Системные и сетевые установки на режимах постоянной частоты вращения ВК при скоростях ветра  $v > v_p$  могут развивать мощность, превышающую их номинальные значения, но чтобы избежать возможные перегрузки, они, кроме системы регулирования частоты вращения ВК, должны иметь еще и системы ограничения мощности.

Ключевые слова: энергетика возобновляемая нетрадиционная, установки ветроэнергетические, механические ВЭУ, электрические ВЭУ постоянного тока, электрические ВЭУ переменного тока, аккумуляторные батареи, ветроколесо, синхронный генератор, асинхронный генератор, балластное сопротивление, преобразователь частоты

УДК 001.4:620.9:006.354 Е10  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Нетрадиционная энергетика  
Ветроэнергетика

ГОСТ Р 51991-2002  
Ветроэнергетика  
Установки ветроэнергетические  
**Общие технические требования**

Nontraditional power engineering.  
Wind power engineering.  
Wind turbines.  
General technical requirements

*ОКС 27.180*

*ОКП 34 8793*

*Дата введения 2003—07—01*

### **Предисловие**

1 РАЗРАБОТАН АО «Новые и возобновляемые источники энергии» (ВИЭН), ВНИИСтандарт, ГосНИЦ ЦАГИ, ГНУ ВИЭСХ, ВНИИНМАШ

ВНЕСЕН Управлением научно-технического прогресса Минэнерго России

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 25 декабря 2002 г. №516-ст

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

### **Введение**

В настоящее время многие российские предприятия активно разрабатывают и осваивают производство ветроэнергетических установок (ВЭУ) различной мощности и назначения.

За рубежом ветроэнергетика более 15 лет назад вышла на уровень промышленного производства ВЭУ, которые по своим показателям уже достигли рентабельности и конкурируют с электростанциями, работающими на угле. Нормативной базой для зарубежных разработок, изготовления и эксплуатации ВЭУ, а также для проек-

тирования на их основе ветроэлектрических станций (ВЭС) является комплекс международных стандартов МЭК 61400, устанавливающих требования и методы испытаний ветровых турбогенераторов, и разделы В6 и С3 МЭК/PAS 62111, устанавливающие требования к генераторам ВЭУ и требования безопасности к ВЭУ и ВЭС при децентрализованном электроснабжении в части защиты от грозовых перенапряжений и от поражения электрическим током, а также рекомендации по выбору аппаратов защиты.

Целью настоящего стандарта является установление общих единых требований к ВЭУ различной мощности и назначения. Применение стандарта будет способствовать обеспечению современного технического уровня, качества и экономичности ВЭУ при их разработке (проектировании), производстве и эксплуатации.

Настоящий стандарт отвечает потребностям народного хозяйства и направлен на развитие нетрадиционной возобновляемой энергетики как альтернативы органическому топливу, используемому для выработки электрической энергии.

По мере разработки и принятия государственных стандартов, гармонизированных с международными стандартами МЭК, в настоящий стандарт будут внесены соответствующие изменения.

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт распространяется на ветроэнергетические установки (ВЭУ) всех типов и устанавливает единые технические требования к ним.

Положения настоящего стандарта рекомендуется применять предприятиям, союзам, ассоциациям, концернам, акционерным обществам, межотраслевым, региональным и другим объединениям независимо от форм собственности и подчинения, расположенным на территории Российской Федерации.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.004—91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.2.007.0—75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.049—80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования

ГОСТ 20.39.108—85 Комплексная система общих технических требований.

Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 15846—79 Продукция, отправляемая в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93)/ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93) Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики

ГОСТ Р 50571.10—96 (МЭК 364-5-54—80) Электроустановки зданий.

Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники

ГОСТ Р 51237—98 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения

ГОСТ Р 51317.6.1—99 (МЭК 61000-6-1—97) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.6.3—99 (МЭК 61000-6-3—96) Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Нормы и методы испытаний

ГОСТ Р 51990—2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация

### **3 Определения**

В настоящем стандарте используют определения, приведенные в ГОСТ Р 51237.

### **4 Общие требования**

#### **4.1 Характеристики**

##### **4.1.1 Основные требования**

ВЭУ следует изготавливать в соответствии с требованиями настоящего стандарта, ГОСТ Р 51990 и технических условий на ВЭУ конкретного типа по конструкторской документации, утвержденной в установленном порядке.

##### **4.1.2 Требования назначения**

4.1.2.1 Значения расчетной, буревой, минимальной рабочей и максимальной рабочей скоростей ветра ветроагрегата должны быть приведены в технических условиях и эксплуатационной документации на ВЭУ конкретного типа.

4.1.2.2 ВЭУ, предназначенные для работы с электронагревательными приборами, электронасосами и с нагрузками других видов, должны иметь в своем составе устройства, обеспечивающие значение мгновенной мощности нагрузки, близкой к характеристике максимальной мощности ветроагрегата в диапазоне от минимальной рабочей до расчетной скорости ветра. В обоснованных случаях допускается ступенчатое регулирование мощности нагрузки.

4.1.2.3 ВЭУ, работающая на электродвигательную нагрузку, должна иметь в своем составе устройство, обеспечивающее надежный пуск электродвигателя на холостом ходу во всем рабочем диапазоне скоростей ветра. В технических условиях на ВЭУ должны быть указаны условия пуска двигателя с нагрузкой.

#### 4.1.3 Требования к конструкции

4.1.3.1 Размеры ВЭУ и ветроагрегата, входящего в ее состав, размеры башни (мачты), диаметр ветроколеса и другие характеристики определяют, исходя из требований технического задания, и указывают в технических условиях на ВЭУ конкретного типа.

4.1.3.2 В конструкции ВЭУ массой более 1 т должны быть предусмотрены места крепления тросов при монтаже и демонтаже ВЭУ различными способами (с помощью крана, трактора, лебедки и др.).

4.1.3.3 В нижней части башни (мачты) должна быть предусмотрена установка соединительной коробки (щита) для подключения к внешней электрической сети.

4.1.3.4 Конструкция ВЭУ должна обеспечивать удобство монтажа, демонтажа, обслуживания, а также возможность свободного доступа к элементам настройки, регулирования и управления ВЭУ, а также к ее составным частям.

4.1.3.5 ВЭУ должна быть автоматизирована. Объем автоматически выполняемых операций ВЭУ различного назначения может быть различен. В обязательный объем автоматизации входят:

— ограничение частоты вращения ветроколеса на заданном уровне при высоких скоростях ветра;

— автоматическая ориентация ветроколеса по направлению ветра (при ветроагрегате с горизонтально-осевым ветродвигателем);

— защита электрических цепей ВЭУ от токов короткого замыкания и перегрузок.

4.1.3.6 ВЭУ, работающие совместно с дизель-электрическими агрегатами и электроисточниками других типов, а также входящие в состав ветроэлектрических станций (ВЭС), работающих на стационарную электрическую сеть, должны иметь следующий минимальный объем дополнительной автоматизации:

— автоматическое включение на параллельную работу при достижении минимальной рабочей скорости ветра при соблюдении ограничений по току включения;

— автоматическое отключение и останов ВЭУ при снижении скорости ветра ниже минимальной, выходе из строя токосъемного устройства или при предельно допустимом закручивании кабеля;

— возможность дистанционного управления ВЭУ мощностью выше 30 кВт;

— автоматическое отключение и останов ВЭУ при скорости ветра выше максимальной рабочей скорости, а также при возникновении недопустимо высокого уровня вибраций основных частей ветроагрегата;

— автоматический пуск в работу (страгивание и разгон до синхронной частоты вращения).

4.1.3.7 Металлические и неметаллические покрытия в ВЭУ должны обеспечивать коррозионную стойкость в условиях эксплуатации и хранения, приведенных в стандартах и технических условиях на ВЭУ конкретного типа.

4.1.3.8 Конструкция ВЭУ должна соответствовать современным требованиям технической эстетики в части внешнего вида, гармоничности размещения, целостности, масштабности и оформления оборудования с учетом физиологических факторов.

4.1.4 Требования к электрическим параметрам и режимам

4.1.4.1 Допускаемая перегрузка генератора ВЭУ по току и мощности и время работы при перегрузках должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий на генератор конкретного типа.

4.1.4.2 Мощность собственных нужд ВЭУ не должна превышать 10% установленной мощности генераторов ВЭУ.

4.1.4.3 Установившееся отклонение частоты тока при работе на нагрузку в рабочем диапазоне скоростей ветра и изменении нагрузки от холостого хода до мощности, удовлетворяющей расчетной ха-

рактеристике ВЭУ при соответствующей скорости ветра, не должно быть более:

— для автономных ВЭУ мощностью до 5 кВт включительно ... $\pm 5\%$ ;

— для автономных ВЭУ мощностью свыше 5 кВт и ВЭУ гарантированного электроснабжения ... $\pm 3\%$ .

4.1.4.4 Переходное отклонение частоты тока при условиях согласно 4.1.4.2 — не более  $\pm 10\%$ .

4.1.4.5 Установившееся отклонение напряжения на выходе ВЭУ в рабочем диапазоне скорости ветра при снижении и увеличении нагрузки от холостого хода до мощности, удовлетворяющей расчетной характеристике ВЭУ при соответствующей скорости ветра, не должно быть более:

— для автономных ВЭУ мощностью до 5 кВт включительно ... $\pm 10\%$ ;

— для автономных ВЭУ мощностью свыше 5 кВт различного назначения ... $\pm 8\%$ .

4.1.4.6 Переходное отклонение напряжения на выходе ВЭУ в рабочем диапазоне скорости ветра при снижении и увеличении нагрузки до мощности, удовлетворяющей расчетной характеристике ВЭУ при соответствующей скорости ветра, не должно быть более  $\pm 20\%$  номинального значения.

4.1.4.7 Время переходного процесса при снижении и увеличении нагрузки от холостого хода до мощности, удовлетворяющей расчетной характеристике ВЭУ при соответствующей скорости ветра, в рабочем диапазоне скорости, не должно быть более 5 с.

4.1.4.8 Коэффициент несинусоидальности кривой выходного напряжения не должен быть более:

— для ВЭУ трехфазного тока частотой 50 Гц ... $5\%$ ;

— для ВЭУ однофазного тока и трехфазного тока частотой свыше 50 Гц ... $8\%$ .

4.1.4.9 Коэффициент несинусоидальности кривой тока в линии «ВЭС — электрическая сеть» не должен быть более  $10\%$ .

4.1.4.10 Коэффициент небаланса линейных напряжений при несимметричной нагрузке фаз с коэффициентом небаланса тока нагрузки  $25\%$  номинального значения (при условии, что ни в одной из фаз ток не превышает номинального значения) не должен быть более  $10\%$ .

4.1.4.11 Нормы качества электрической энергии ВЭУ постоянного тока устанавливаются в технических условиях на ВЭУ конкретного вида.

4.1.4.12 При работе ВЭУ совместно с дизель-электрическими агрегатами должны соблюдаться условия эксплуатации дизельных двигателей согласно стандартам и техническим условиям на изделия конкретных видов.

4.1.5 Требования стойкости к внешним воздействующим факторам

4.1.5.1 ВЭУ следует изготавливать климатических исполнений У, УХЛ и Т, категорий размещения 1, 1.1, 2 и 2.1 по ГОСТ 15150.

4.1.5.2 ВЭУ должны допускать в процессе эксплуатации воздействия:

— дождя интенсивностью 3 мм/мин для установок и агрегатов исполнений У и УХЛ, интенсивностью 5 мм/мин — для исполнения Т;

— снега, росы, инея, града и гололеда для установок и агрегатов исполнений У и УХЛ;

— солнечной радиации с расчетной интегральной поверхностной плотностью теплового потока (верхнее рабочее значение) до 1125 Вт/м<sup>2</sup>;

— соляного тумана и плесневых грибов для исполнения Т;

— воздуха запыленностью не более 2,5 г/м<sup>3</sup> для исполнений У, УХЛ, Т;

— ветра скоростью при двухминутном порыве не менее 50 м/с;

— температуры воздуха, не менее:

минус 50°С — для ВЭУ исполнения УХЛ;

минус 30°С — для ВЭУ исполнения У;

минус 10°С — для ВЭУ исполнения Т.

Примечание — При гололеде допускается останов ветроагрегата для удаления льда.

4.1.5.3 ВЭУ допускается размещать для работы на высоте над уровнем моря до 2000 м. Значения снижения мощности за счет изменения плотности воздуха должны быть указаны в стандартах или технических условиях и инструкциях по эксплуатации ВЭУ конкретных типов.

4.1.6 Требования эргономики и технической эстетики ВЭУ должны соответствовать эргономическим требованиям по ГОСТ 12.2.049 и ГОСТ 20.39.108. Конкретные эргономические тре-

бования к зонам обслуживания устанавливаются в стандартах или технических условиях на агрегаты и установки конкретного вида.

#### 4.1.7 Требования технического обслуживания и ремонта

4.1.7.1 ВЭУ устанавливают, монтируют и эксплуатируют в соответствии с эксплуатационной документацией.

4.1.7.2 При перерывах в работе более 3 мес. ВЭУ должна быть законсервирована в соответствии с эксплуатационной документацией.

4.1.7.3 Проведение технических обслуживаний ВЭУ и профилактических ремонтных работ следует выполнять не реже двух раз в год: перед и после зимней эксплуатации.

#### 4.1.8 Требования надежности

Для ВЭУ устанавливают следующие основные показатели надежности:

- средний срок службы  $T_{\text{сл}}$ , лет;
- средний ресурс до капитального ремонта  $T_{\text{р}}$ , ч;
- средняя наработка до отказа  $T_1$ , ч;
- среднее время восстановления  $T_{\text{в}}$ , ч.

Значения показателей надежности должны быть установлены в технических заданиях и технических условиях на ВЭУ конкретных видов.

#### 4.1.9 Требования энергоэффективности и ресурсосбережения

Для ветроагрегатов устанавливают следующие показатели:

- удельное металлосодержание  $K_{\text{у.н}}$ , кг/кВт;
- удельная выработка электрической энергии на 1 м<sup>2</sup> площади, ометаемой ветроколесом,  $K_{\text{у}}$ , кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Значения показателей энергоэффективности и ресурсосбережения должны быть установлены в техническом задании на агрегаты (установки) конкретных типов.

### **4.2 Маркировка**

Маркировка ВЭУ — по ГОСТ 15846.

### **4.3 Упаковка**

Упаковка ВЭУ — по ГОСТ 15846.

## **5 Требования безопасности**

5.1 ВЭУ должна соответствовать требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.007.0 и настоящему стандарту.

5.2 В ВЭУ должна быть предусмотрена защита обслуживающего персонала от поражения электрическим током, от травмирования вращающимися и подвижными частями при подъеме по внутренним или наружным лестницам.

5.3 Типы систем токоведущих проводников и систем заземления должны устанавливаться по ГОСТ 30331.2. Требования к заземляющим устройствам и защитным проводникам должны соответствовать ГОСТ Р 50571.10.

5.4 Все открытые проводящие части электрооборудования, которые могут оказаться под опасным напряжением вследствие повреждения изоляции, должны иметь электрическое соединение с корпусом агрегата и башней.

5.5 Электрооборудование ВЭУ должно иметь заземляющие зажимы для подключения нулевого защитного и нулевого рабочего проводников, а также знаки заземлений, выполняемые по ГОСТ 12.2.007.0.

5.6 Электрическая изоляция токоведущих частей электрооборудования ВЭУ электрических цепей номинальным напряжением 230 и 400 В должна выдерживать без повреждения в течение 1 мин синусоидальное напряжение соответственно 1500 и 1800 В с частотой 50 Гц.

5.7 Сопротивление электрической изоляции отдельных разобраных силовых цепей напряжением 230 и 400 В между собой и по отношению к корпусу в холодном состоянии должно быть не ниже 20 МОм, в горячем состоянии — не ниже 3 МОм.

5.8 ВЭУ должна отвечать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004.

5.9 Конструкцией ВЭУ должна быть предусмотрена защита от ударов молнии посредством использования молниеотводов, обеспечивающих прохождение тока разряда молнии, минуя подшипники лопастей и главного вала ветроагрегата.

Дополнительные требования по защите от грозовых перенапряжений следует указывать в технических условиях и инструкциях по эксплуатации ВЭУ конкретного типа. Рекомендуется при проектировании систем защиты ВЭУ от грозовых перенапряжений руководствоваться требованиями МЭК 61024-1 [1], МЭК 61024-1-1 [2] и МЭК 61024-1-2 [3].

Система автоматического управления ВЭУ должна быть защищена от электростатического электричества грозоразрядниками, экранами и другими способами.

5.10 ВЭУ мощностью выше 4 кВт должны иметь как минимум две независимые системы торможения ветроагрегата — рабочую и аварийную. При аварийном сбросе нагрузки или выходе из строя аварийного тормоза должна быть предусмотрена защита ветроагрегата от неконтролируемого увеличения частоты вращения ветроколеса.

5.11 Ветроагрегат должен иметь тормоз, приводимый в действие вручную. Управление тормозом должно быть доступно оператору, находящемуся на уровне земли. Исключение допускается для ВЭУ мощностью менее 1 кВт, установленных на безопасном расстоянии от жилых и производственных помещений.

5.12 ВЭУ, оборудованные устройством автоматического отключения, приводимым в действие датчиками превышения допустимого уровня частоты вращения ветродвигателя или датчиками вибрации башни и головки ветродвигателя, а также датчиками превышения допустимых значений температуры обмоток генератора, масла и подшипников, должны иметь средства для последующего ручного включения после установления причин и анализа последствий аварийного отключения ВЭУ.

5.13 В местах и устройствах, предназначенных для обслуживания персонала ВЭУ, где есть опасность потери равновесия, должны быть предусмотрены соответствующие ограждения. Работы на высоте должны выполняться с применением ремней безопасности.

5.14 ВЭУ должны предусматривать применение устройств, препятствующих проникновению посторонних лиц на башню. Все наземное оборудование должно быть закрыто соответствующими устройствами и снабжено предупредительными плакатами.

## **6 Требования охраны окружающей среды**

6.1 Места для установки ВЭУ должны быть выбраны в стороне от традиционных путей перемещения перелетных птиц. Во избежание случаев гибели птиц на эксплуатируемые ВЭУ должны быть установлены акустические маяки, отпугивающие птиц.

6.2 Уровень звука, создаваемый одиночной ВЭУ на расстоянии 50 м от ветроагрегата на высоте 1,5 м от уровня земли, не должен превышать 60 дБА.

6.3 В жилых и общественных помещениях вблизи ВЭУ во всех случаях уровень звука работающих ВЭУ не должен превышать 60 дБА, инфразвука — 100 дБ в соответствии с требованиями СНиП II.12 [4].

6.4 Требования по электромагнитной совместимости электрооборудования, входящего в состав ВЭУ, должны быть установлены в стандартах и технических условиях на ВЭУ конкретных видов и соответствовать требованиям ГОСТ Р 51317.6.1 и ГОСТ Р 51317.6.3.

## 7 Транспортирование и хранение

Транспортирование и хранение ВЭУ — по ГОСТ 15846.

### Приложение А

(справочное)

#### Перечень действующих стандартов МЭК на ветроэнергетические установки (ТК 88 МЭК)

Обозначение стандарта Номер издания	Наименование стандарта	Код по международному классификатору стандартов	Наличие аналогичного стандарта Российской Федерации
МЭК 60050-415:1999 Издание 1.0	Международный электротехнический словарь. Часть 415. Турбогенераторы ветровые	01.040.29 27.180	ГОСТ Р 51237
МЭК 61400-1:1999 Издание 2.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 1. Требования безопасности. Wind turbine generator systems — Part 1: Safety requirements	27.180	—
МЭК 61400-2:1996 Издание 1.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 2. Безопасность ветровых турбогенераторов малой мощности. Wind turbine generator systems — Part 2: Safety of small wind turbines	27.180	—
МЭК 61400-11:1998 Издание 1.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 11. Методы измерения акустических шумов Wind turbine generator systems — Part 11: Acoustic noise measurement techniques	27.180	—
МЭК 61400-12:1998 Издание 1.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 12. Методы измерения характеристик мощности Wind turbine generator systems — Part 12: Wind turbine power performance testing	27.180	—

Обозначение стандарта Номер издания	Наименование стандарта	Код по международному классификатору стандартов	Наличие аналогичного стандарта Российской Федерации
МЭК 61400-13 TS:2001 Издание 1.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 13. Измерение механических характеристик Wind turbine generator systems — Part 13: Measurement of mechanical loads	27.180	—
МЭК 61400-23 TS:2001 Издание 1.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 23. Полномасштабные испытания конструкций лопастей ротора Wind turbine generator systems — Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades	27.180	—
МЭК 61400-24 TS:2002 Издание 1.0	Системы турбогенераторные ветровые. Часть 24. Защита ветроэнергетических установок от ударов молнии Wind turbine generator systems — Part 24: Lightning protection for wind turbines	27.180	—
МЭК/PAS 62111:1997 Издание 1.0	Технические условия, используемые для децентрализованного электроснабжения. Часть С. Технические требования к компонентам. Раздел С3. Требования к электрогенераторам ветровых турбин	27.160	—
МЭК/PAS 62111:1997 Издание 1.0	Технические условия, используемые для децентрализованного электроснабжения. Часть В. Требования к проектированию и функционированию ВЭУ. Раздел В6. Защита от поражения электрическим током	27.180	—
ИСО 4354:1997 Издание 1.0	Воздействие ветра на конструкции Wind actions on structures	27.180	—

## Приложение Б

### (справочное)

### Библиография\*

[1] МЭК 61024–1:1990 Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Общие принципы

[2] МЭК 61024–1–1:1993 Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Общие принципы. Раздел 1. Руководство. Выбор уровней молниезащиты

\* Международные стандарты ИСО и МЭК и их переводы находятся во Всероссийском научно-исследовательском институте классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству (ВНИИКИ).

[3] МЭК 61024–1–2:1998 Молниезащита строительных конструкций. Часть 1–2. Руководство В. Проектирование, установка, техническое обслуживание и проверка систем молниезащиты

[4] СНиП II–12–77 Строительные нормы и правила. Защита от шума

Ключевые слова: энергетика возобновляемая нетрадиционная, установки ветроэнергетические, ветроэлектрические станции, безопасность ветроэнергетических установок, охрана окружающей среды, надежность

---

---

## Приложение VII Часто задаваемые вопросы

### **Сколько это будет стоить?**

Это наиболее часто задаваемый вопрос, и ответ зависит от множества факторов, например, мощности ВЭУ, выбранного участка под строительство, наличия на выбранном участке соответствующей инфраструктуры и т.д. На этот вопрос можно аргументировано ответить только после выполнения ТЭО.

Однако ориентировочные суммы можно оценить уже на стадии составления бизнес-плана.

### **Как выяснить, кто является поставщиком энергетического оборудования?**

Информацию о производителях ветроэнергетического оборудования мы публикуем в настоящем издании. В то же время существует множество изданий, сайтов, где также можно получить наиболее свежую информацию о действующих производителях ветроэнергетического оборудования, дилерах различных фирм (российских и международных).

Более того, зачастую производители предоставляют информацию о фирмах или сами оказывают и такие услуги, как оценка ветропотенциала территории, составление бизнес-плана, ТЭО, а также консультативное сопровождение.

### **Как определить требуемую мощность ветроагрегата для того или иного проекта?**

Выше мы уже затрагивали некоторые аспекты этого вопроса. Здесь же нужно еще раз повторить: требуемая мощность, количество, а также дополнительное оборудование целиком и полностью зависит от того, для чего Вы хотите использовать ВЭУ. Задачи, которые Вы планируете решить с помощью ветроэнергетики, определяют количество, качество, инфраструктуру Вашего ветропарка.

Если в Вашем окружении нет специалистов, которые могут компетентно проконсультировать Вас по этому вопросу, то, связав-

шись с поставщиками ветроагрегатов, можно выяснить, какое конкретно оборудование нужно.

### **Есть ли на выбранном участке достаточные ветроэнергетические ресурсы?**

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо произвести предварительную оценку электрической нагрузки на Вашем объекте и затем с целью определения среднегодовых скоростей ветра в Вашем регионе связаться с местным метеорологическим центром\*.

Далее следует провести исследование средних скоростей ветра на выбранном участке. Длительность такого исследования зависит от масштаба разрабатываемого проекта. Обычно эту услугу представляют поставщики оборудования или специализированные службы и организации. Приближенную оценку выработки электроэнергии ВЭУ, а стало быть, и мощности этих агрегатов, можно провести самостоятельно. Тем более, что сегодня масса изданий, посвященных методикам подобных расчетов; немало подобной информации и в Интернете.

---

\* Здесь следует отметить, что метеостанции устанавливались не всегда на ветреных местах, поэтому данные, опубликованные в официальных справочниках нужно проверять и уточнять.

**Приложение VIII**  
**Соотношения**  
**некоторых единиц энергии**  
**(работы, теплоты)**

	Дж	Кал	г.у.т.	г.н.э.	м <sup>3</sup> газа	Вт•ч	БТЕ
1 Дж	1	0,24	$3,41 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-5}$	$25-27 \cdot 10^{-9}$	$2,78 \cdot 10^{-4}$	$9,48 \cdot 10^{-4}$
1 Кал	4,18	1	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$9,98 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-7}$	$1,16 \cdot 10^{-3}$	$3,96 \cdot 10^{-3}$
1 г.у.т.	$2,93 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	1	$6,99 \cdot 10^{-1}$	$7,86 \cdot 10^{-4}$	8,16	27,8
1 г.н.э.	$4,19 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	1,43	1	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10$	39,7
1 м <sup>3</sup> газа	$3,73 \cdot 10^7$	$8,92 \cdot 10^6$	$1,27 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^2$	1	$1,04 \cdot 10^4$	$3,54 \cdot 10^4$
1 Вт•ч	$3,59 \cdot 10^3$	$8,59 \cdot 10^3$	$1,23 \cdot 10^{-1}$	$8,59 \cdot 10^{-2}$	$9,62 \cdot 10^{-5}$	1	3,4
1 БТЕ	$1,055 \cdot 10^3$	$2,52 \cdot 10^2$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^2$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	0,294	1

**Примечания:**

Дж — Джоуль

Кал — Калория

г.у.т. — Грамм условного топлива

г.н.э. — Грамм нефтяного эквивалента

м<sup>3</sup> газа — Кубический метр природного газа

Вт•ч — Ватт в час

БТЕ — Британская тепловая единица

---

---

## Приложение IX Список использованной и рекомендуемой литературы

1. Атласы ветрового и солнечного климатов России. Под ред. М.М. Борисенко, В.В. Стадник. — С.-Петербург. 1997. — 173 с.
2. Атлас энергоресурсов СССР, т. 1. — М., Госэнергоиздат, 1936.
3. Бляшко Я.М. Малая гидроэнергетика и решение проблемы энергообеспечения отдельных территорий // Сборник докладов «Возобновляемая энергетика 2003: состояние, проблемы, перспективы» — СПбГПУ, 2003.
4. Бляшко Я.И., Ванжа А.И. Региональные аспекты развития малой гидроэнергетики России // Сборник докладов «Возобновляемая энергетика 2003: состояние, проблемы, перспективы» — СПбГПУ, 2003.
5. Бринкварт Б. Солнечная энергия для человека. — М.: Мир, 1976. — 285 с.
6. Бритвин О.В., Дьяков А.Ф., Городницкий В.И., Перниное Э.М., Козлов Б.М. Состояние и перспективы развития нетрадиционной энергетики в РАО «ЕЭСРоссии» // Бизнес и инвестиции в области возобновляемых источников энергии в России. Труды Международного конгресса. — М., 1999.
7. Ветроэнергетика / Под редю Д. Рензо: Пер. с англ. / Под ред. Я.И. Шефтер. — М.: Энегоатомиздат, 1982. — 278 с.
8. Ветроэнергетические станции / В.Н. Андрианов, Д.Н. Быстрицкий, К.П. Вашкевич и др. — М.: Госэнергоиздат, 1960. — 294 с.
9. Возобновляемая энергетика. — [www.mre.gov.ru](http://www.mre.gov.ru).
10. Возобновляемая энергия // Бюллетень Интерсоларцентра. Декабрь, 2000.
11. Возобновляемая энергия в России. От возможности к реальности // Международное энергетическое агентство, 2003.
12. Вороновицкий В.Я. Против энергорасточительности — новые технологии. // «Новая Камчатская правда», №4, 2003.
13. Гарцман Л.Б. Принципы расчета предельных значений энергетических параметров структуры ветра. — В кн.: Исследования характеристик режима возобновляющихся источников энергии — воды, ветра и Солнца. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1063. С. 107–1937.
14. Гельдыев А.Г. Создание и испытание малой ветропреснительной установки. — Проблемы освоения пустынь, 1972, №2. С.13–19.
15. Гордеев П.Л., Яковлев Г.В. Развитие электростанций с поршневыми двигателями за рубежом // Электрические станции, №10, 2001.
16. Гриневич Г.А. Опыт разработки элементов ветроэнергетического кадастра Средней Азии и Казахстана. — Ташкент: Изд-во АН УзССР. 1952. — 216 с.

17. Дьяков А.Ф. Нетрадиционная энергетика в России: проблемы и перспективы // Энергетик, №8,2002.
18. Евстигнеев В.В., Федянин В.Я., Чертищев В.В. Физические основы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для теплоснабжения. — Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2004.
19. Жимерин Д.Г. Проблемы развития энергетики. — М.: Энергия, 1978. — 176 с.
20. Жарков С.В. Использование энергии ветра на энергоустановках с газовыми турбинами // Изв. АН. Энергетика. 2003. №5. С. 130–135.
21. Жарков С.В. Использование энергии ветра на паротурбинных энергоустановках // Тяжелое машиностроение. 2003. №11. С. 5–6.
22. Жарков С.В. Плавающая ветроустановка с наклонной осью // Морской вестник. 2005. №1. С. 61–63.
23. Жарков С.В. Ветроустановка с наклонной осью // Энергетика и промышленность России (газета). 2005. №5. С. 46–47.
24. Зубарев В.В., Минин В.А., Степанов И.Р. Использование энергии ветра в районах Севера. — Л.: Наука. 1989. — 208 с.
25. Иванова И.Ю., Попов С.П., Тугузова Т.Ф. Роль возобновляемых источников энергии в энергоснабжении восточных районов России // Регион: экономика и социология, №1,2002.
26. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Попов С.П., Петров Н.А. Малая энергетика Севера: Проблемы и пути развития. — Новосибирск: Наука, 2002. — 188 с.
27. Инновационные проекты ВИЭСХ. Каталог. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. — 84 с.
28. Информационная система по теплоснабжению. — [www.rosteplo.ru](http://www.rosteplo.ru)
29. Исследование, оценка энергетического потенциала, воздействие ВЭУ на окружающую среду Тарханкутского полуострова и Арабатской стрелки. Зарегистрировано как ОИС в реестре РАО №320 от 8.10.1993. Автор: Рыбалкин Л.М.
30. Колодин М.В. Методика выравнивания эмпирических распределений скоростей ветра на основе управления Гудрича. — В кн.: Методы разработки ветроэнергетического кадастра. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 85–106.
31. Красовский В.Н. Ветроэнергетические ресурсы СССР и перспективы их использования// Атлас энергоресурсов СССР. — М.: Энергоиздат, 1935.
32. Лайзерович А.Ш. Время большой ветроэнергетики // Электрические станции, №1, 2003.
33. Лебедева Е.А., Недатко П.А., Шакой А.Ф. Программы освоения солнечной энергии. — США — экономика, политика, идеология, 1977, №5. С. 110–121.
34. Лисичкин Г.В. Экологические проблемы альтернативной энергетики. — МНЭПУ, 2000.

35. Мирзакеев К.М. Оценка длительности возможных затиший ветра в районе пустыни Бетпак–Дала. — В кн.: Проблемы общей энергетики и единой энергетической системы. — Алма-Ата: изд-во АН КазССР, 1965, вып. 1. С. 39–51.
36. Мировая энергетика. Прогноз развития до 2020 г. — М.: Энергия, 1980. — 220 с.
37. Наставления по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. — СПб, 1996.
38. Научно-техническая программа «Энергообеспечение Крымской области на период 1985–1990 гг. с применением возобновляемых источников энергии». Постановление №440 от 15.10.1986. ГКНТСССР. Исполнитель: ВНИПИЭНЕРГОпром. Руководитель проекта: Рыбалкин Л.М.
39. Потенциал возобновляемых источников энергии в России. Существующие технологии. Аналитический обзор // Российско-Европейский технологический центр. <http://www.technologycentre.org>
40. Проблема использования энергии ветра для электрификации. Обзорная информация. — М.: Информэлектро, 1980. — 51 с.
41. Проблемы развития рынка ветровых электроустановок в капиталистических странах. — М.: Информэлектро. 1979. — 24 с.
42. Проект строительства ветроэнергетических установок 300, 600/700, 1000 кВт и систем в регионах Северного Азово-Черноморья, Крыма (Тарханкутский и Керченский полуострова), Арабатской стрелки, горы Ай-Петри, Балаклавы. Заказ UNIDO, VIENNA International Centre, декабрь 1986 г. Исполнители: Рыбалкин Л.М., Осадчук И.А.
43. Производители, разработчики, продавцы оборудования ВИЭ — [www.intersolar.ru](http://www.intersolar.ru).
44. Проспект фирмы «Уиндэнерго» (США-Украина). Ветроустановка USW 56–100.
45. Проспект фирмы «Турбовиндс» (Бельгия). Ветроустановка 1600–48.
46. Развитие возобновляемых источников энергии в России: возможности и практика (на примере Камчатской области). Сборник. — М.: ОМННО «Совет–Гринпис», 2006. — 92 с.
47. Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книжка энергетика. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 440 с.
48. Советский энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1985.
49. Ссорен К., Кожевников Н. Датские ветряные электростанции — история индустриального успеха // Электрические станции, №5, 1999.
50. Справочник по климату СССР. Ветер. Вып. 20. Л.: Гидрометеиздат, 1966.
51. Старков А.Н., Ландберг Л., Безруких П.П., Борисенко М.М. Атлас ветров России. — М.: Можайск–Терра, 2000. — 551 с.
52. Стратегия развития энергосистемы Камчатки // Доклад Скворцова В.В., зам. губернатора Камчатской области, 16–17 сентября 2003.

53. Технические предложения с выбором площадки под ВЭС–25000 кВт с ветрогенераторами 100 кВт фирмы US WindPOWER (США). (УДК 629.7.064.) Заказ ПЭО Крымэнерго. Договор №1/91 от 25.04.1991. Приднепровский МФК и МП «Интеллект» г. Евпатория–Севастополь. Руководитель проекта: Рыбалкин Л.М.
54. Удел С. Солнечная и другие альтернативные виды энергии. — М.: Знание, 1980. — 86 с.
55. Улицкий М.Б. Самодельная метеорологическая станция. — 1936.
56. Фонд сотрудничества Япония-Европа. Уведомление о закупках: «Ветряные генераторы в Чукотской АО — технико-экономические обоснования». Июль, 2003.
57. Федоров М.П. Опыт применения ветроустановок на опорном пункте. — В кн.: Доклад I Всесоюзной научно-технической конференции по возобновляющимся источникам энергии. — М.: Энергия, 1972. С. 27–30.
58. Шефтер Я.И. Ветроэнергетические агрегаты. — М.: Машиностроение. 1972. — 288 с.
59. Шефтер Я.И. Возобновляющиеся ресурсы энергии за рубежом. — Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1980, №10. С. 1–7.
60. Шефтер Я.И. Использование нетрадиционных энергоресурсов. — Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1981, №7. С. 1–7.
61. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. — М.: Энергия, 1975. — 176 с.
62. Шефтер Я.И. Новые источники энергии. Состояние, роль, перспективы развития за рубежом. — Энергохозяйство за рубежом, 1981, №3. С. 1–7.
63. Шефтер Я.И. Совместное использование ветродвигателей и тепловых двигателей для выработки энергии. — Доклады ВАСХНИЛ, 1957, №6. С. 13–21.
64. Шефтер Я.И., Мустафаев С.Я. Устройство для автоматического управления работой погружного насоса. — Водоснабжения и санитарная техника, 1979, №4. С. 23–24.
65. Шефтер Я.И., Рождественский И.В. Ветронасосные и ветроэлектрические агрегаты. — М.: Колос, 1967. — 375 с.
66. Шефтер Я.И., Рождественский И.В. Полуавтоматические ветроэлектрические станции с инерционным аккумулятором. — Вестник сельскохозяйственной науки, 1958, №12. С. 24–30.
67. Энергетика неисчерпаемых ресурсов. — Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981, №3. С. 13–16.
68. Энергетическая политика, №1, 2004.
69. Энергетический кризис в капиталистическом мире / Р.Н. Андресян, О.С. Богданов, Ю.М. Гарушянц и др. — М.: Мысль, 1975. — 478 с.
70. Ярас Л., Хоффман Л., Ярас А., Обермайер Г. Энергия ветра: Пер. с англ. / Под ред. Я.И. Шефтера. — М.: Мир, 1982. — 256 с.

71. European Wind Turbine Catalogue. Copenhagen: Energy Center Denmark. 1995. — 63p.
72. Wind Force 12. Report of European wind association and Greenpeace.
73. Windenergie 2002. Bundesverband WindEnergie. — Osnabruck, Deutschland, STEINBACHER DR-UCK. 2002. — 264p.
74. Zharkov S.V. Wind use at thermal power plants // RE-GEN. Wind. (GB). 2004. March. P. 13–15.
75. Zharkov S.V. Wind energy use at gas-turbine and steam-turbine plants // EW (Germany). 2004. №11. P. 58–61.

---

---

## Приложение X Интернет-ресурсы

1. Список производителей энергооборудования от МСоЭС  
<http://www.seu.ru/projects/eco-tech/links/energo.htm>
2. Список производителей энергооборудования от Гринпис России  
<http://www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/174186>  
<http://www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/1174562>
3. Intelcenter  
[http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/alten\\_o\\_vetroenerg\\_v\\_rossii.htm](http://www.intelcenter.com.ua/rus/library/alten_o_vetroenerg_v_rossii.htm)
4. Сайт ecoteco.ru по системному внедрению технологий  
<http://www.ecoteco.ru/index.php?id=1>
5. Виртуальная выставка павильон «возобновляемые источники энергии»  
Возобновляемые источники энергии «Возобновляемые источники энергии»  
<http://www.energy-exhibition.com/Exhibition/Renewable/rnw.php>
6. Альтернативная энергетика  
[http://factor-media.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=244](http://factor-media.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=244)
7. ОАО «Рыбинский Завод приборостроения»  
<http://www.rzp.su/>
8. Ветропарк, ООО НПК  
[http://netenergy.ru/rubrik.php?id\\_com=516](http://netenergy.ru/rubrik.php?id_com=516)
9. Компания «Ветроэнергетика»  
<http://ovis.khv.ru/>
10. Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВИЭСХ)  
<http://reeep.ru/ru/orglist/detail/157>
11. ООО «КОМФОРТС»  
<http://www.komforts-m.ru/info/contacts.shtml>
12. ЭКОРОС, ЦЕНТР ЭКОНОМИИ РЕСУРСОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЗАО  
<http://rubricator.expoweb.ru/193230.html>
13. ЗАО «МНТО ИНСЭТ»  
<http://www.inset.ru/r/index.htm>
14. ЗАО «Энергия»  
<http://3391389.383.ru/>
15. Закрытое Акционерное общество «ЭКОРОС»  
<http://www.abeu.ru/>

16. НПФ Тритон ЛТД  
<http://www.innov.ru/nnbe/8/343.htm>
17. «Ветроток»  
[http://www.agrolink.ru/base\\_gvs3/meh+/org/9598.html](http://www.agrolink.ru/base_gvs3/meh+/org/9598.html)
18. ОАО Тушинский Машиностроительный Завод  
<http://www.exponet.ru/exhibitions/online/hitechmo2004/jsctmz.ru.html>
19. ОАО «Московский машиностроительный завод «ВПЕРЁД»  
[http://www.energy-exhibition.com/Exhibition/Renewable/wind/vpered/vpered\\_about.php](http://www.energy-exhibition.com/Exhibition/Renewable/wind/vpered/vpered_about.php)
20. ОАО «Московский машиностроительный завод «ВПЕРЁД»  
<http://www.mmz-vpered.ru/>
21. Тушинский машиностроительный завод  
<http://www.oao-tmz.ru/>
22. ООО «СТРОЙИНЖИНИРИНГ СМ»  
<http://nanoport.ru/nanobase/organizations/detail.php?ID=6420>
23. Нетрадиционные источники энергии  
<http://www.1el.ru/catalog/121/0-20>
24. Российская ассоциация ветроиндустрии  
<http://www.rawi.ru/index.php>
25. Ваш солнечный дом  
<http://www.solarhome.ru/ru/wind/index.htm>  
<http://www.solarhome.ru/ru/wind/forward.htm>
26. ЭЛСИБ  
<http://www.elsib.ru/>
27. ООО АЭРОЛЛА  
[http://www.b2b.by/ru/infopage.php?code=X100\\_121292](http://www.b2b.by/ru/infopage.php?code=X100_121292)
28. Ветромоторы  
<http://electric-wind.euro.ru/>
29. Ветрастар  
<http://vetrastar.narod.ru/index.htm>
30. Стройинжиниринг  
<http://wind-energy.hut.ru/>
31. Ветроген  
<http://wg.bronson.ru/>
32. Ветроэнергомаш  
<http://astrakhan.info/goods.php?category=32&subcategory=138>
33. КБ «Южное» им. М.К. Янгеля  
<http://www.yuzhnoye.com>  
<http://www.nkau.gov.ua/gateway/news.nsf/NewsALLR/>
34. Государственный ракетный центра «КБ им. академика В.П. Макеева»  
[http://www.makeyev.ru/e107\\_plugins/content/content.php?content.11](http://www.makeyev.ru/e107_plugins/content/content.php?content.11)
35. «САПСАН – ЭНЕРГИЯ»  
<http://www.sev.ru/>  
<http://www.sapsan-energy.energoportal.ru/>

36. О компании Свет ветра  
<http://www.avante.com.ua/>
37. ЗАО фирма «Агрегат–Привод»  
<http://www.mosprivod.ru/>
38. «Научно-исследовательский центр ВИНДЭК»  
[http://rosinmn.ru/elektro/alternator\\_windec.htm](http://rosinmn.ru/elektro/alternator_windec.htm)
39. Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ)  
<http://www.viesh.ru/indexru.htm>
40. Официальный сайт ВНИПТИМЭСХ  
<http://www.vniptimz.by.ru/>
41. ГНУ Всероссийский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ГНУ ВНИПТИМЭСХ)  
<http://agroacadem.net/instituts/vniptimesh/vniptimesh.htm>
42. Общество с ограниченной ответственностью «Специальное Конструкторское Бюро «Искра»  
<http://www.iskrawind.ru/>
43. Бизнес-карта отечественных производителей и разработчиков ветроэнергетических установок  
<http://ecoclub.nsu.ru/altenergy/common/table1.htm>
44. [http://esco-ecosys.narod.ru/2002\\_10/art23.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2002_10/art23.htm)
45. МОЛИНОС ТОО  
<http://www.inforos.ru/firm/?view=598220&parent=320>
46. Строительно-промышленная группа «Стройтехномонтаж»  
<http://www.stm.vistcom.ru/vetrogeneratori/vetrogeneratori.htm>
47. Элмотрон ЗАО  
[http://www.energieforum.ru/ru/vosobnowljaemyje\\_isstotschniki/wetrjanaja\\_energetika/proizvoditeli\\_rossija/yelmotron\\_zao\\_6.html](http://www.energieforum.ru/ru/vosobnowljaemyje_isstotschniki/wetrjanaja_energetika/proizvoditeli_rossija/yelmotron_zao_6.html)
48. [http://www.energieforum.ru/ru/vosobnowljaemyje\\_isstotschniki/wetrjanaja\\_energetika/proizvoditeli\\_rossija/yelmotron\\_zao\\_6.html](http://www.energieforum.ru/ru/vosobnowljaemyje_isstotschniki/wetrjanaja_energetika/proizvoditeli_rossija/yelmotron_zao_6.html)
49. Опытный завод «Азимут-электроприбор»  
<http://www.industrial-catalogue.ru/rus/company/2923.html>
50. МОКБ «Марс»  
<http://www.mars-mokb.ru/contacts.htm>
51. ООО «Ветро-свет»  
<http://vetro-svet.spb.ru/>
52. «Ветровая энергия и техника»  
<http://vetroentech.ru/>
53. Бриз  
<http://www.breezex.ru/>
54. НПО «Лианозовский электромеханический завод»  
<http://www.lemz.ru/contacts/>
55. Сайт фирмы ИнжИнвестСтрой  
<http://www.iis97.narod.ru/>
56. Предприятие «НПО Инверсия»  
<http://www.inversiya.com/>

57. Кувандыкский завод «Долина»  
<http://www.ao-dolina.com/zavod.htm>
58. Ковровский механический завод  
<http://www.kmz.kovrov.ru/>
59. Новосибирского авиаремонтного завода  
<http://www.narp.ru/about/contacts/>
60. Киров энергомаш  
<http://www.kz-energo.spb.ru> НА САЙТ НЕ СМОГЛА ВЫЙТИ
61. ОКБ Карат  
<http://www.proteplonasos.ru>

## **И еще**

62. <http://www.rosteplo.ru>
63. <http://www.windpower-monthly.com/WPM:WINDICATOR:427859,>  
[http://www.windpower-monthly.com/aug05/cont.htm.](http://www.windpower-monthly.com/aug05/cont.htm)
64. [http://www.fuelalternative.com.ua/show\\_news.phtml?id=7920](http://www.fuelalternative.com.ua/show_news.phtml?id=7920)
65. [http://www.rustrubprom.ru/print.php/10289\\_0\\_3\\_0\\_C/](http://www.rustrubprom.ru/print.php/10289_0_3_0_C/)
66. <http://www.ug.ru/02.38/t21.htm>
67. <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=8024>
68. [http://www.chukotka.org/ru/alternate\\_energetics/](http://www.chukotka.org/ru/alternate_energetics/)
69. [http://www.rsp-energo.ru/katalog/stat/5\\_stat.html](http://www.rsp-energo.ru/katalog/stat/5_stat.html)
70. <http://www.energycenter.ru/article/683/42/>
71. <http://www.vetrotehnika.ru/articles/>
72. <http://www.irkutskenergo.ru/qa/223.2.html>
73. <http://1sn.ru/show.php?id=6329>
74. <http://www.eprussia.ru/tech/articles/2.htm>
75. <http://www.seu.ru/members/bereginya/2002/09/10-1.htm>
76. <http://www.baikalwave.eu.org/Volna/44/koshelev2.html>
77. <http://www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/174186>
78. <http://www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/1174562>
79. <http://www.technologycentre.org>
80. <http://www.mpe.gov.ru>
81. <http://www.intersolar.ru>

---

---

**Приложение XI**  
**Производители**  
**ветроэнергетического оборудования**

· - - - - -  
**Компания «ЛМВ Ветроэнергетика»**

производство, установка и обслуживание  
небольших ветрогенераторов собственной конструкции,  
солнечных и гибридных энергетических установок

680030, Хабаровск,  
ул. Павловича, д. 26  
(4212) 21-73-52, 22-13-84  
lmw@winde.khv.ru  
<http://ovis.khv.ru>

· - - - - -  
**ОАО «Элсиб»**

ветроустановки ВЭС-10-ТМ мощностью 10 кВт

630088, Новосибирск,  
ул.Сибиряков-Гвардейцев, 56  
(3832) 42-69-67,42-11-62,  
42-03-66, 42-08-84  
elsib@ru.ru  
<http://www.elsib.ru>

· - - - - -  
**ОАО «Элсиб»**

**представительство в Москве**

ветроустановки ВЭС-10-ТМ мощностью 10 кВт

**101000, Москва,**  
**ул. Покровка, д. 15/16-8**  
**(495) 925-98-16, 925-98-16**  
**elsib@ru.ru**  
**<http://www.elsib.ru>**

— — — — —  
**ЗАО «Элмотрон»**

производство ветроэлектрических установок  
мощностью 1–2 кВт

630092, Новосибирск,  
проспект К. Маркса, д. 20,  
корп. 2, к. 113  
(3832) 46-13-71, 46-13-71

— — — — —  
**«Ветромоторы»**

ветроэнергетический комплекс ВП–3,72 мощностью 3,2 кВт  
Челябинск  
(3512) 72-55-33, 75-22-30, 75-10-48  
electri\_wind@euro.ru  
<http://electric-wind.euro.ru/>

— — — — —  
**Государственный ракетный центр  
«КБ им. академика В.П. Макеева»**

ветроэлектрические установки,  
ветродизельные электростанции  
456300, Челябинская область, г. Миасс,  
Тургоякское шоссе, д.1  
(35135) 2-39-70, 2-62-05,  
6-61-91, 2-28-31  
(3513) 28-63-33, 53-39-70  
факс (3513) 56-61-91, 24-12-33  
scr@makeev.ru  
www.makeev.ru

— — — — —  
**НПО Инверсия**

ветровые электростанции мощностью 1–10 кВт  
620026, Екатеринбург,  
ул. Сони Морозовой, д. 180, оф. 137  
(343) 261-14-31, 261-72-76, 261-73-60,  
372-66-13, 372-66-14, 261-14-31,  
261-72-76, 261-73-60  
invers@rambler.ru  
<http://www.inversiya.com>

· - - - - -  
**АО Научно-производственная компания  
«Ветроток»**

ветроэнергетические установки мощностью 4–16 кВт  
620151, Екатеринбург, а/я 54  
(3432) 39-98-19, 53-14-60

· - - - - -  
**ООО «Стройинжсервис»**

ветроэнергетическая установка Шексна–1 мощностью 0,5 кВт  
152901, Ярославская обл., г. Рыбинск,  
ул. Введенская 2, офис 6  
(4855) 24-76-74, 24-76-74  
stroydesign@hotmail.ru  
<http://wind-energy.hut.ru>

· - - - - -  
**Рыбинский завод приборостроения**

ветроэлектрические установки и ветронасосы  
Ярославская обл., г. Рыбинск,  
пр-т Ленина, д. 163,  
проспект Серова, д. 89  
(4855) 55-02-98, 55-29-41, 55-87-00  
pribor@yaroavl.ru  
<http://www.rzp.narod.ru>  
<http://www.rzp.ru>

· - - - - -  
**АО «Ветроэнергомаш»**

агрегат ветроэлектрический АВЭУ6–4М  
с номинальной мощностью генератора 4 кВт  
414045, Астрахань,  
ул. Брестская, д. 30  
(8512) 33-57-11, 33-08-44,  
33-57-11, 30-37-48  
vem@astrakhan.info

-----  
**НТП Корпорация «Каспий»**

производство ветродизельной установки ВТЭС-32  
414056, Астрахань,  
ул. Татищева, д. 16  
(85122) 25-74-63

-----  
**«ВНИПТИМЭСХ»**

ветроэлектрические установки мощностью до 0,5 кВт  
347720, Ростовская обл., г. Зерноград,  
ул. Ленина, д. 14  
(86359) 3-24-98, 3-22-80  
[www.vniptimz.by.ru](http://www.vniptimz.by.ru)

-----  
**«Ремстроймаш»**

ветродвигатели и ветрогенераторы  
с горизонтальной и вертикальной осью  
Волгоград,  
ул. Жигулевская, д. 2  
(8442) 39-45-25, 39-72-51

---

**Москва и Московская область,  
в том числе представительства**

-----  
**НПП «Ветроэн»**

ветроустановки, проектирование ветроэлектростанций  
143960, Московская область, г. Реутов,  
ул. Транспортная, д. 9  
(495) 528-95-83, 528-95-83  
[nppvetroen@mtu-net.ru](mailto:nppvetroen@mtu-net.ru)

-----  
**НИЦ «Виндэк»**

однолопастные ветроустановки мощностью 0,2–1,5 кВт  
107005, Москва,  
ул. Радио, д. 17  
(495) 263-44-87, 263-44-87  
windec@mail.ru  
<http://windec.mail333.com>

-----  
**Корпорация «ВИЭСХ»**

ветроустановки мощностью 220, 600, 1200 Вт  
109456, Москва,  
1-й Вешняковский пр., д. 2  
(495) 171-14-23, 170-51-01  
171-17-20, 171-02-74  
viesh@dol.ru  
[www.viesh.ru](http://www.viesh.ru)

-----  
**«Агрегат-привод»**

производство ветроэнергетических установок  
107023, Москва,  
ул. Б. Семеновская, д. 40  
(495) 369-9056, 369-95-25, 369-12-09  
privod@mosprivod.ru,  
akv@art-vizing.ru  
<http://mosprivod.ru>

-----  
**ОАО «Московский машиностроительный  
завод «Вперёд»**

автономные мобильные ветроэнергетические комплексы  
«Жаворонок» и «Форвард» мощностью 0,5–30 кВт.  
111024, Москва,  
проезд Энтузиастов, д. 15  
(495) 673-44-27, 673-36-18,  
273-66-55, 273-66-33  
company@mmz-vpered.ru  
<http://www.mmz-vpered.ru/>

-----  
**СКБ «АТИК» — Авиационные технологии  
и композиты (Спецремтекс)**

ветрогенераторы:

ветроэнергетическая установка (ВЭУ 2000),  
мощностью 2 кВт

125080, Москва,  
Волоколамское шоссе 13, стр. 1  
(495) 786-89-75, 786-89-76  
info@dean-wind.ru  
<http://www.clean-wind.ru/>

-----  
**ТОО «Молинос»**

ветроустановка М-250 мощностью 250 Вт

125080, Москва,  
ул. Герцена, 46, а/я 36  
(495) 158-44-09, 158-02-49

-----  
**ООО «Стройинжиниринг СМ»**

автономные ветрогенераторы,  
ветродизельные электроустановки и электростанции,  
микрогидроэлектростанции

117321, Москва, а/я 118  
(495) 425-51-11, (495) 425-51-11  
wind@scienmet.ru  
<http://scienmet.ru/>

-----  
**«Сапсан — энергия ветра»**

производство и продажа ветроэлектростанций  
мощностью от 0,5 до 5 кВт

Москва,  
36 км Ленинградского шоссе  
(495) 787-3959, 787-69-22, 651-96-51,  
sev@sapsan.ru  
<http://www.sev.ru>

· - - - -  
**Тушинский машиностроительный завод**

ветродвигатели и ветрогенераторы с горизонтальной осью  
123362, Москва,  
ул. Свободы, 35  
(495) 493-30-47, 497-48-25, 497-43-61  
jsctmz@mail.ru  
www.utep.ru/e/jsctmz

· - - - -  
**НПК «Ветрастар»**

ветроэнергетические установки мощностью 16 кВт  
111024, Москва,  
пр-д Энтузиастов, д. 15  
700-59-63, 791-75-92  
vest@online.ru  
<http://vetrastar.narod.ru/index.htm>

· - - - -  
**Лианозовский электромеханический завод  
(ЛЭМЗ)**

производство ветродизельных установок мощностью до 30 кВт  
127411, Москва  
ул. Дмитровское шоссе, д. 110  
495) 485-15-88, 484-60-10  
wind\_lemz@front.ru, lemz@tsr.ru

· - - - -  
**ООО «ИнжИнвестСтрой»**

ветроэлектростанции мощностью 0,5–1,5 кВт;  
комбинированные установки:  
ветро-дизельные, ветро-солнечные

111401, Москва,  
ул. Зеленый проспект, д. 23/43  
(495) 306-40-45, 672-96-92, 306-40-45  
iis97@yandex.ru  
www.iis97.narod.ru

— — — — —  
**ООО СКБ «Искра»**

производство ветроэлектрической установки WW-500  
мощностью 0,5 кВт

123592, Москва,  
ул. Кулакова, д. 20  
(495) 757-65-10, 757-48-33  
iskrawind@iskrawind.ru  
www.iskrawind.ru

— — — — —  
**«Марс», московское опытно-  
конструкторское бюро**

оборудование регистрации данных, управления  
и телеметрическая аппаратура  
для ветродвигателей и ветрогенераторов

Москва,  
ул. 1-й Щемилловский пер., д. 16  
(495) 973-18-96, 973-18-96, 688-64-44  
office@mars-mokb.ru

— — — — —  
**Государственное машиностроительное  
конструкторское Бюро (МКБ) «Радуга»**

разработка ветроэнергетических установок  
мощностью от 1 кВт до 1 МВт.

Московская область, г. Дубна,  
ул. Жуковского, 2а  
(221) 246-47, 5-17-01  
raduga15@dubna.ru

— — — — —  
**Государственное машиностроительное  
конструкторское Бюро (МКБ)**

**«Радуга»**

**представительство в Москве**

разработка ветроэнергетических установок  
мощностью от 1 кВт до 1 МВт.

Москва,  
ул. Матросская Тишина, д. 23/7, корп. 5  
(495) 268-43-49, 777-07-36, 777-07-20  
raduga15@dubna.ru



-----  
**Центральное КБ машиностроения**

ветродвигатели и ветрогенераторы с горизонтальной осью  
С.-Петербург,  
ул. Красногвардейская пл., д. 3  
(812) 224-12-79, 224-32-01

-----  
**Завод «Азимут-электроприбор»**

производство ветроэлектрических установок  
мощностью 0,1–0,2 кВт

197046, С.-Петербург,  
ул. Малая Посадская, д. 30  
(812) 233-38-29, 232-74-67,  
238-81-90  
elprib@erbi.spb.su

-----  
**ООО «Ветро-Свет»**

производство ветроэлектрических установок. Поставка  
роторов для ВЭУ. Выполнение проектных работ по договорам  
С.-Петербург,  
ул. Гжатская, д. 21  
(812) 535-98-49, 535-21-89, 535-67-20  
mail@vetro-svet.spb.ru  
<http://vetro-svet.spb.ru/>

-----  
**«Экоэнергетика»**

разработка ветроэнергетических установок

С.-Петербург,  
СПбГТУ, каф. ВИЭГ,  
ул. Политехническая д. 29  
(812) 552-77-71

-----  
**Advision Ltd.**

ветрогенераторы мощностью: 0,5–12 кВт, ветронасосы  
С.-Петербург,  
пл. Карла Фаберже, д. 8, оф. 625  
(812) 335-96-34  
<http://webstory.advision.ru>

· - - - - -  
**Ветроген**

поставки, продажа, установка ветроэлектрических систем  
С.-Петербург,  
Московский пр., д. 173  
(812) 970-43-51, 373-54-30, 373-89-29  
info@windgen.ru  
<http://wg.bronson.ru/>

· - - - - -  
**Государственный научный центр РФ –  
ЦНИИ «Электроприбор»**

производство ветроэнергетических установок  
197046, С.-Петербург,  
ул. Малая Посадская, 30  
(812) 232-59-15, 238-78-01, 232-33-76  
office@eprib.ru, elprib-onti@telros.net  
<http://www.elektropribor.spb.ru/>

· - - - - -  
**Электросфера**

ветрогенераторы разной мощности  
195197, С.-Петербург,  
Полюстровский пр., д. 60  
(812) 324-48-88, 324-48-84  
spb@esk.spb.ru  
<http://www.electrosfera.ru/>

· - - - - -  
**Электросфера  
представительство в Москве**

ветрогенераторы разной мощности  
**123298, Москва,  
ул. Маршала Бирюзова, д. 1,  
корп. 1 «А»,  
(495) 797-4949, 741-0646  
novg@esk.spb.ru  
[www.electrosfera.ru](http://www.electrosfera.ru)**

-----  
**Электросфера**  
**представительство в Великом Новгороде**  
ветрогенераторы разной мощности  
**173003, В. Новгород,**  
**ул. Германа, д. 1 «А», офис 42**  
**(8162) 17-99-78, 18-93-84**

-----  
**Электросфера**  
**представительство в Сыктывкаре**  
ветрогенераторы разной мощности  
**167981, Сыктывкар,**  
**ул. Карла Маркса, д. 197, оф. 406**  
**(8212) 21-86-56, 24-72-99**  
**komi@esk.spb.ru**  
**www.electrosfera.ru**

-----  
**Электросфера**  
**представительство в Пскове**  
ветрогенераторы разной мощности  
**180004, Псков**  
**Октябрьский пр. д. 54, офис 316**  
**(8112) 72-19-79, 72-19-79**  
**pskov@esk.spb.ru**  
**www.electrosfera.ru**

---

**С вопросами и предложениями обращаться:**

**Центр альтернативных технологий,  
энергосбережения и энергообеспечения  
Алтайского краевого общественного Фонда  
«Алтай — 21 век»**

**656052 г. Барнаул, ул. Матросова, 120**

**тел./факс: (385–2) 75–72–00**

**email: [ecolist@rambler.ru](mailto:ecolist@rambler.ru)**

**(с пометкой: Центр альтернативных технологий)**

Подписано в печать 19.02.2008. Формат 60x84/16

Бумага для множительных аппаратов. Печать офсетная  
Усл.–печ. л. 8,625. Уч.–изд. л. 5,6. Тираж 500 экз. Заказ №48

Типография Фонда «Алтай — 21 век»

656052, Барнаул, ул. Матросова, 120.