Библиотека СОК

П.П. БЕЗРУКИХ
П.П. БЕЗРУКИХ (мл.)

Что может дать энергия ветра

Ответы на 33 вопроса



МОСКВА
2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. ОСНОВЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ 4
1.1. Что такое ветроустановка и как она работает? 4
1.2. Какое количество электроэнергии может дать одна ветроустановка? 6
1.3. Сколько ветроустановок нужно для получения 1 МВт мощности? 7
1.4. Что такое ветроэлектрическая станция? 7
1.5. Может ли ветростанция работать без связи с энергосистемой? 8
1.6. Что такое коэффициент использования установленной мощности? 8
1.7. От чего зависит коэффициент использования установленной мощности? 9
1.8. В чем недостатки и в чем достоинства ветроустановок? 9

2. ЭКОНОМИКА ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ 10
2.1. Сколько стоит электроэнергия, вырабатываемая на ВЭС? 10
2.2. Сколько стоит ветроустановка? 12
2.3. Как цена на электроэнергию, вырабатываемую на ВЭС, соотносится с ценой на электроэнергию, вырабатываемую на электростанциях другого типа? 12
2.4. Какие формы поддержки развития ветроэнергетики применяются в зарубежных странах? 13

3. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ 14
3.1. Каков реальный вклад ВЭС в генерируемую мощность энергосистемы? (есть ли замещение мощности) 14
3.2. Сколько электроэнергии, вырабатываемой на ВЭС в действительности может быть поставлено в энергосистему страны? 15
3.3. Сколько электроэнергии дает и может дать ветер во всем мире? 17
3.4. Как оценивают специалисты ближайшие перспективы ветроэнергетики в мире? 17
3.5. Страны-лидеры по ветроэнергетике 18

4. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА 18
4.1. Каковы экологические преимущества ветроэнергетики? 18
4.2. Существуют ли какие-нибудь отрицательные последствия использования ветровой энергии? 19
4.3. Какова шумность ветроустановок? 20
4.4. Сколько земли нужно для ВЭС? 22

5. МАЛЫЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ 24
5.1. Что такое малая ветроэнергетическая система? 24
5.2. Сколько земли нужно под малые ветроустановки? 25

5.3. Каких размеров башню используют для малых ветроустановок? ... 25
5.4. Какова стоимость малых ветроэнергетических систем и кто их производит? ... 26

6. КОМБИНИРОВАННЫЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ... 30

6.1. Почему комбинированные? ... 30
6.2. Какой главный путь развития комбинированных систем в России? ... 31
6.3. Что нужно знать о ветродизельных системах? ... 31

7. ИНФОРМАЦИЯ ПО ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ ... 33

7.1. С чего начинать при строительстве ВЭС? ... 33
7.2. Как не ошибиться в главном? ... 34
7.3. Чему не стоит удивляться? ... 35
7.4. К чему нужно быть готовым заказчику? ... 36
7.5. На чью помощь можно рассчитывать? ... 36

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящую брошюру можно назвать пособием для тех руководителей и специалистов разного уровня органов управления субъектов Российской Федерации, а также общественных деятелей, которые в условиях дефицита топлива и бюджетных средств заняты поиском решений проблемы надежного энергоснабжения населения и потребителей на подведомственных территориях, в первую очередь находящихся в зонах децентрализованного энергоснабжения, а также в зонах дефицитных энергосистем, подверженных ограничительным и/или аварийным отключениям.

Она является также пособием для предпринимателей, фермеров и любых частных лиц, которые ищут самостоятельно пути снижения расходов на оплату электроэнергии и обеспечения бесперебойного энергоснабжения своих предприятий.

Брошюра полезна людям, занимающимся сезонными работами (геологи, рыбаки, охотники, скотоводы, огородники и т.п.), живущими, как правило, без радио, телевидения и электрического освещения, а также всем, кто интересуется использованием энергии ветра.

Она написана, в основном, на базе опыта строительства и эксплуатации ветроустановок и ветростанций за рубежом (по этой причине все стоимостные данные приводятся в долларах), а также анализа всего, что делается в России по этой проблеме.

1. ОСНОВЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

1.1. ЧТО ТАКОЕ ВЕТРОУСТАНОВКА И КАК ОНА РАБОТАЕТ?

Ветроустановка (ВЭУ) преобразует кинетическую энергию ветра в механическую или электрическую энергию, удобную для практического использования. Механическая энергия, главным образом, используется для подъема воды в сельских или удаленных местностях. Ветроэнергетические установки производят электрическую энергию для бытовых или промышленных нужд. Существуют два основных вида установок: ветроустановки с вертикальной осью вращения и ветроустановки с горизонтальной осью вращения. Ветроустановки с горизонтальной осью составляют около 95 % всех ветроустановок, подключенных к сетям энергосистем (рис. 1 и рис. 2).

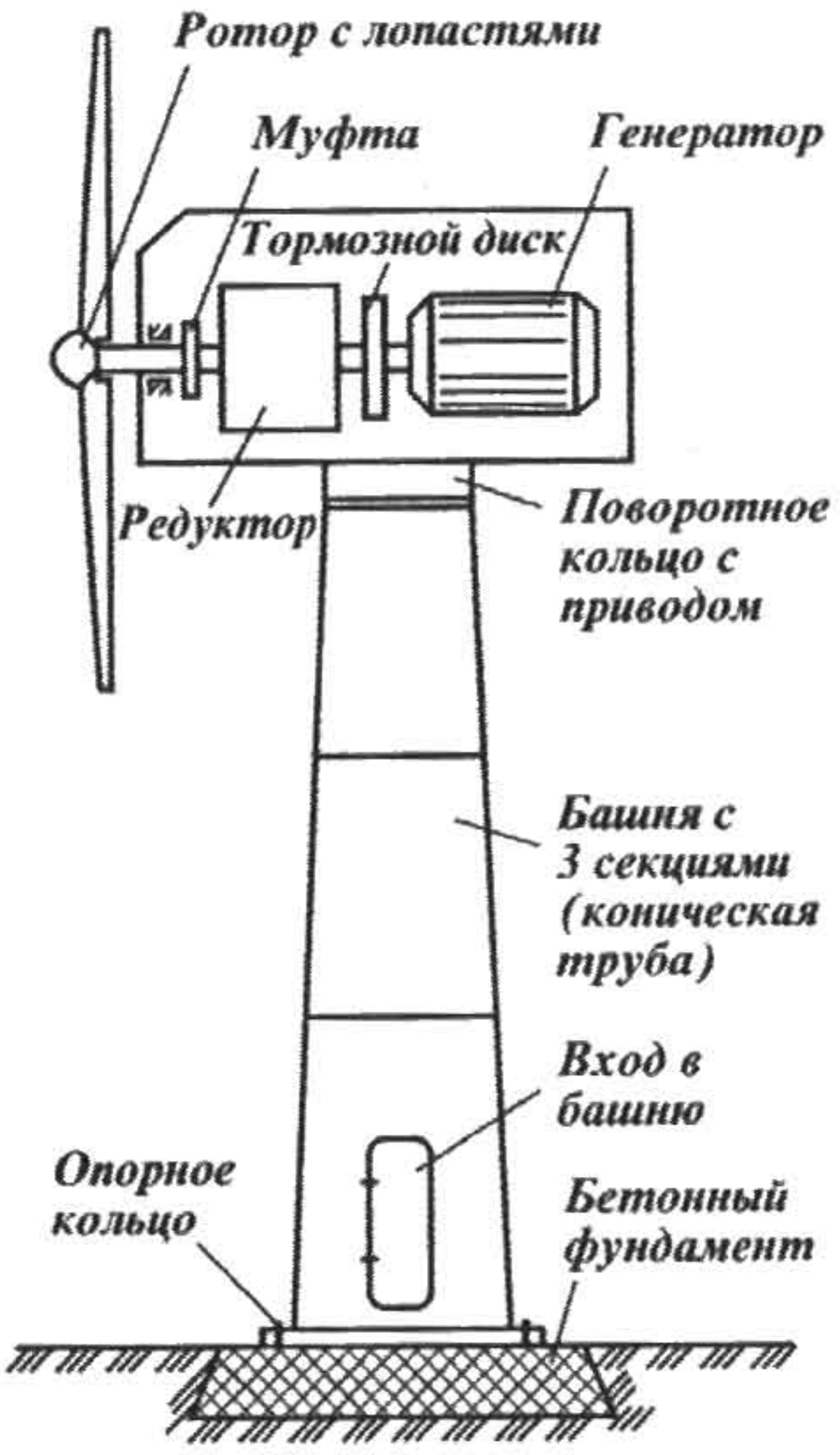


Рис. 1. ВЭУ с горизонтальной осью вращения

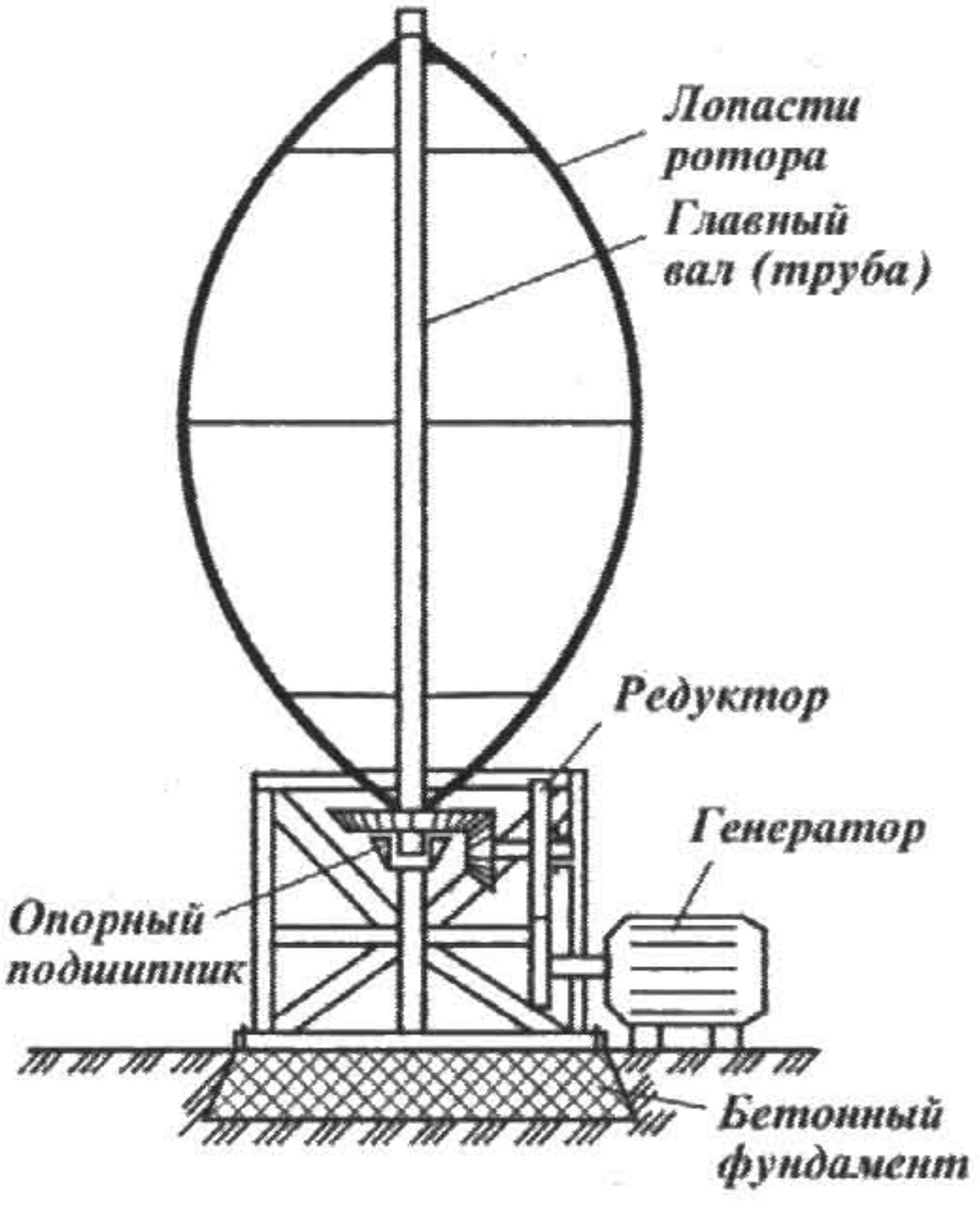


Рис. 2. ВЭУ с вертикальной осью вращения (ротор Даррье)

Ветроустановка включает следующие основные подсистемы и узлы:

ротор или лопасти, который преобразует энергию ветра в энергию вращения вала;

кабину или гондолу, в которой обычно расположен редуктор (некоторые турбины работают без редуктора), генератор и другие системы;

башню, которая поддерживает ротор и кабину;

электрическое и электронное оборудование: также как и панели управления, электрические кабели, оборудование заземления и оборудование для подключения к сети, система молниезащиты и др.

Диаметр ротора ВЭУ по мере возрастания мощности ветроустановки от 1 до 3000 кВт увеличивается от 2 до 100 м, а высота башни — от 8 до 100 м. Для ветроустановки мощностью выше 150 кВт диаметр ротора и высота башни примерно равны.

1.2. КАКОЕ КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МОЖЕТ ДАТЬ ОДНА ВЕТРОУСТАНОВКА?

Способность генерировать мощность измеряется в "ваттах". Ватт – очень малая единица, для измерения мощностей используются киловатты (1000 Вт) и мегаватты (1 млн. ватт) и гигаватты (1 млрд. Вт). Потребление электрической энергии повсеместно измеряется в киловатт-часах (кВт·ч). 1 кВт·ч означает 1 кВт мощности, используемой в течение 1 часа.

Пример. Одна 100-ваттная лампа, включенная в течение 10 часов потребляет 1 кВт·ч электроэнергии.

Энергия, производимая ветроустановкой, зависит от диаметра ротора и скорости ветра, проходящего через него. Производимые в настоящее время ветроустановки имеют номинальную мощность от 40 Вт до 3000 кВт.

В городах российская семья в год потребляет 2000–3000 кВт·ч электроэнергии, а в деревнях и того меньше – 500–800 кВт·ч. Сравните с электропотреблением среднего американского домовладельца – 9400 кВт·ч. А что может дать ветроустановка?

Ветроустановка мощностью 10 кВт может произвести около 16 000 кВт·ч, а мощностью 600 кВт – 1300 000 кВт·ч в год.

Скорость ветра – важнейший элемент в проектировании и использовании ветроустановки. В общем случае при среднегодовой скорости ветра более 4 м/с на высоте 10 м (на этой высоте на метеостанциях устанавливаются анемометры – приборы, измеряющие скорость ветра) возможно эффективное применение ветроустановок, а ветер с меньшей скоростью годится для водоподъемных устройств. Для ветроустановок, подключенных к сетям энергосистемы, приемлемой минимальной скоростью является 6 м/с. Главное правило состоит в том, что возможная вырабатываемая мощность пропорциональна кубу скорости ветра и квадрату диаметра ротора. Это означает, что при удвоении скорости ветра возможная вырабатываемая мощность увеличивается в 8 раз. Даже небольшое увеличение скорости ветра приводит к значительному увеличению мощности. Так, ветроустановка, работающая при средней скорости 6 м/с, генерирует мощность на 44 % большую, чем при скорости 5 м/с.

Если скорость ветра определяется местом, где сооружается

ветроустановка, то диаметр ее ротора — это элемент конструкции, величина которого зависит от многих расчетных параметров. Чаще всего решается обратная задача: задается проектируемая мощность ВЭУ и далее определяется требуемый диаметр при определенной расчетной скорости.

Формула мощности ВЭУ, кВт, выглядит следующим образом:

$$P = 1/2\ \rho\ 1/4\ \pi\ D^2 C_p \upsilon^3 \eta_r \eta_p 10^{-3},$$

где $\rho = 1{,}22$ кг/м^3 — плотность воздуха (стандартная); D, м — диаметр ротора; υ, м/с — скорость ветра; η_r, η_p — коэффициенты полезного действия генератора (~0,95) и редуктора (~0,9); C_p — коэффициент использования ветра, зависящий от профиля лопастей и других режимных параметров, наибольшее значение которого равно 0,593, достигнутые значения коэффициента — 0,4 – 0,45; $\pi = 3{,}14$.

1.3. СКОЛЬКО ВЕТРОУСТАНОВОК НУЖНО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ 1 МВт МОЩНОСТИ?

Большинство производителей ветроустановок, подключенных к энергосистемам, выпускают ветротурбины единичной мощности 250 – 750 кВт. Для ветростанции в 1 МВт нужно 4 ветротурбины мощностью 250 кВт. Если применяются турбины мощностью 500 кВт, то достаточно двух. К концу 2000 г. средняя единичная мощность ВЭУ достигнет 1 МВт.

1.4. ЧТО ТАКОЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ?

Наиболее экономически выгодное применение ВЭУ имеет место, если они объединены в группы. Их и называют ветроэлектрическими станциями (ВЭС), а за рубежом "ветровыми фермами". Мощность ВЭС колеблется от сотен киловатт до сотен мегаватт. Ветровые электростанции можно подстраивать под данную ситуацию. Количество ВЭУ можно увеличивать, если потребность возрастает. Сегодня ветростанция мощностью в 50 МВт может быть построена за 18 мес., включая оценку ресурсов.

1.5. МОЖЕТ ЛИ ВЕТРОСТАНЦИЯ РАБОТАТЬ БЕЗ СВЯЗИ С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ?

Нет, не может. Ветроустановки большой мощности не предназначены для автономной работы и параллельной работы друг с другом. Поэтому, как только отключается линия электропередачи (ЛЭП), связывающая ветростанцию с энергосистемой, останавливаются и ветроустановки ВЭС. Что же делать? Нужно при проектировании обеспечивать надежную связь с энергосистемой — лучше всего двумя ЛЭП с разных точек энергосистемы. А для одиночных ветроустановок и небольших ВЭС, питающих определенную нагрузку — нужно иметь резервный источник электроснабжения (дизель-генератор).

1.6. ЧТО ТАКОЕ КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ?

Коэффициент использования установленной мощности один из параметров, дающих представление об эффективности работы ветростанции или любого другого генерирующего источника.

Это отношение средней выработки генерирующего устройства к максимально возможной.

Наибольшее количество современных ВЭУ, подключенных к энергосистеме, работают с коэффициентом использования установленной мощности от 25 до 35 %. Электростанции на невозобновляемых источниках энергии работают с коэффициентом мощности от 40 до 80 %.

$$\text{Коэффициент использования установленной мощности} = \frac{\text{Действительная выработка электроэнергии за данный период времени}}{\text{Энергия, которая может быть выработана, если ветроустановка будет работать со 100%-ной мощностью все это время}}$$

1.7. ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ?

Коэффициент использования установленной мощности любого генерирующего источника зависит от его надежности, графика нагрузки (не всегда требуется максимальная мощность), необходимость его остановок для профилактических и капитальных ремонтов. А у ветроустановки этот коэффициент еще зависит от наличия ветра и его скорости. Вот почему коэффициент использования установленной мощности ветроустановок существенно меньше, чем у других генераторов. Хотя лучшие ветроустановки в хороших ветровых условиях работают с коэффициентом 0,5.

1.8. В ЧЕМ НЕДОСТАТКИ И В ЧЕМ ДОСТОИНСТВА ВЕТРОУСТАНОВОК?

О недостатках уже упоминалось:

ветер обычно не постоянен и мощность, вырабатываемая ветроустановкой, все время меняется, возникает дополнительная задача для энергосистемы по регулированию частоты и мощности;

нет ветра, нет и энергии, а именно в это время она нужнее всего, значит, необходим резервный источник (для небольших мощностей — аккумулятор);

без связи с энергосистемой ВЭС работать не может, а в ветродизельных станциях нужны специальные системы управления, обеспечивающие параллельную работу ВЭУ и дизель-генераторов;

сравнительно мал коэффициент использования установленной мощности;

довольно высокая удельная стоимость установленной мощности.

Но есть и достоинства и немалые:

не требуется топлива — это главное преимущество;

предотвращается эмиссия CO_2 и других твердых и вредных газообразных выбросов, что имеет место на всех электростанциях, использующих органическое топливо;

для работы ВЭС не требуется вода и воздух, которые в огромных количествах потребляются на тепловых электростанциях;

территория, на которой располагаются ВЭС либо непригодна для хозяйственного использования, либо может использоваться для животноводства и растениеводства, т.е. отчуждение плодородных земель намного меньше, чем на ГЭС и ТЭЦ;

возможность полной автоматизации работы, отсутствие дежурного персонала;

короткий срок сооружения от подписания контракта до окончания монтажа. Можно за 18 мес. построить ВЭС мощностью 50 МВт и дальнейшее расширение станции осуществляется без проблем;

простая технология работы станции. После пуска первой установки станция начинает вырабатывать энергию, кроме электрических — никаких зависимостей по топливу и режиму между ветроустановками нет.

2. ЭКОНОМИКА ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

2.1. СКОЛЬКО СТОИТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМАЯ НА ВЭС?

В 1993 г. Электроэнергетический исследовательский институт США писал: "Есть веские основания ожидать, что в следующие 10—12 лет ветер будет производить более дешевую энергию по сравнению с любыми другими ресурсами".

Это предвидение начинает сбываться.

За последние 15 лет стоимость электроэнергии от ветроэлектростанций, подключенных к энергосистеме, упала более чем в 6 раз. В начале 80-х годов, когда были введены в работу первые станции, электрическая энергия, производимая средней электростанцией стоила 30 центов за кВт·ч. Сейчас действующие ветроэлектростанции производят электроэнергию по цене менее 5 центов за кВт·ч. Эта цена сравнима с ценой любых технологий на невозобновляемых топливах (табл. 1).

В Дании стоимость электроэнергии от ветростанций ниже, чем от угольных электростанций. На рис. 3 приводится изменение цены на электроэнергию от ВЭС в течение последних 15 лет.

Год	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1994	1995	1996
Стоимость электро-энергии, цент/кВт·ч	30	28	23	19	18	15	13	11	8	6	5	4	4
Удельная стоимость установл. мощности, долл./кВт	4000	3520	3360	3040	2640	2180	1840	1600	1520	1200	1100	1000	980

Рис. 3. Изменение стоимости электроэнергии и удельной стоимости установленной мощности сетевых ВЭС за рубежом (усредненные значения)

2.2. СКОЛЬКО СТОИТ ВЕТРОУСТАНОВКА?

За то же самое время удельная стоимость ВЭУ, подключенных к энергосистеме, уменьшилась с 4000 долл./кВт до 1000 долл./кВт, т.е. в 4 раза и продолжает снижаться (см. рис. 3). Таким образом, в ценах начала 1998 г. ВЭУ мощностью 250 кВт не должна стоить более чем 250 тыс. долл. или 1,5 млн. руб. (заводская цена). О стоимости малых ветроустановок будет сказано ниже.

2.3. КАК ЦЕНА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ, ВЫРАБАТЫВАЕМУЮ НА ВЭС, СООТНОСИТСЯ С ЦЕНОЙ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ, ВЫРАБАТЫВАЕМУЮ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ДРУГОГО ТИПА?

На рис. 4 наглядно показаны эти соотношения. Из них следует, что ветер — один из наиболее дешевых возобновляемых источников энергии и ветростанции могут успешно конкурировать с любыми электростанциями на невозобновляемых источниках энергии, при условии их сооружения в

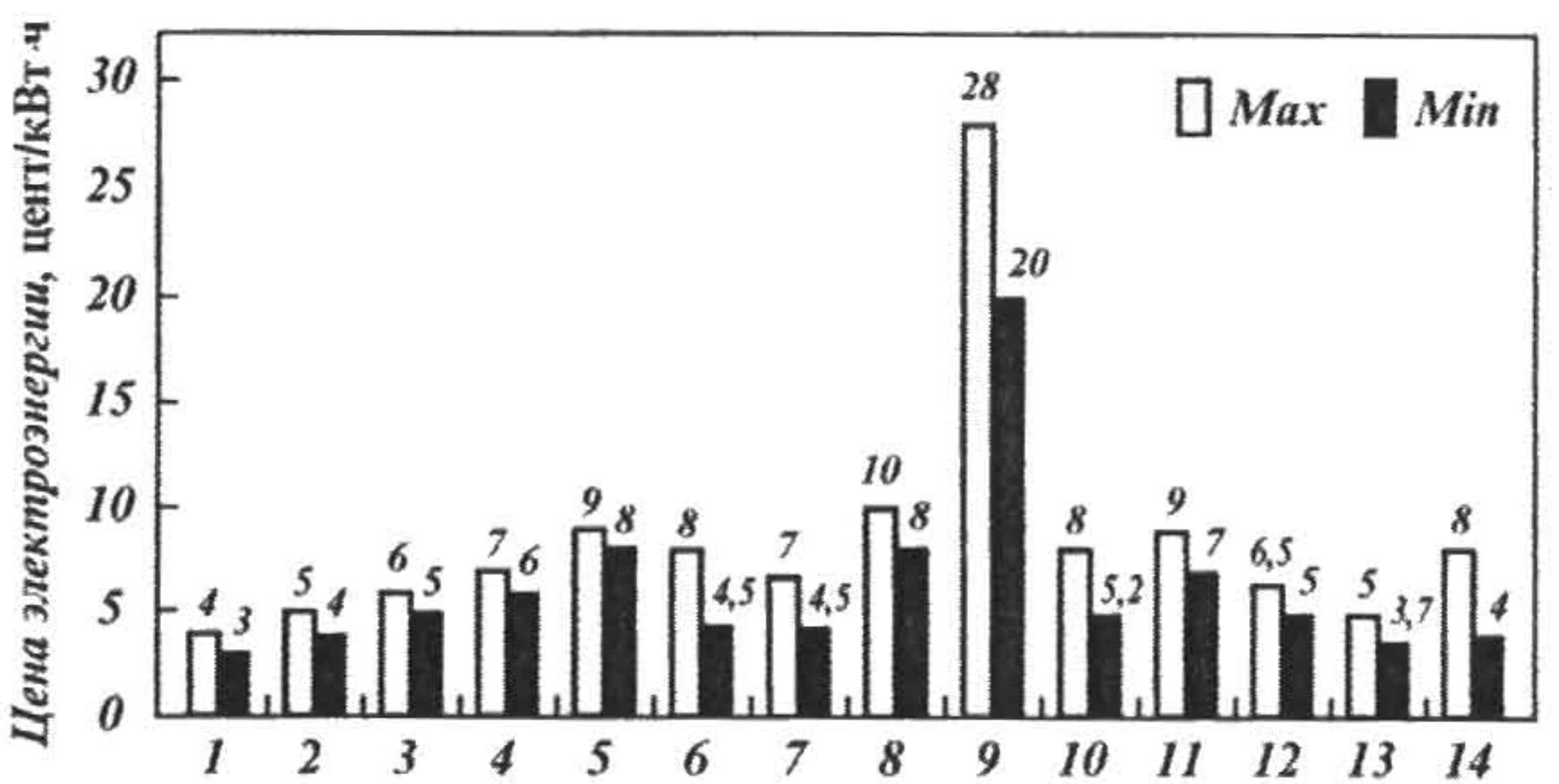


Рис. 4. Усредненные максимальные и минимальные цены на электроэнергию от разных источников:
1 — Микро и малые ГЭС; *2* — ВЭС; *3* — геотермальные станции; *4* — ТЭС на отходах деревообработки; *5* — газификация биомассы; *6* — газ; *7* — твердые бытовые отходы; *8* — солнечные термодинамические станции; *9* — фотоэлектрические станции; *10* — ТЭС на угле; *11* — экологически чистые ТЭС; *12* — ТЭС на газе; *13* — газотурбинные с комбинированным циклом; *14* — атомные станции

тех местах, где среднегодовая скорость ветра составляет 8 м/с и выше.

Многие зарубежные исследовательские центры, организации и фирмы, такие, как DEWI (Германия), RISO (Дания), NREL (США) и др., тесно сотрудничая с промышленностью при поддержке своих правительств, работают над следующим поколением ВЭУ. Результатом этих работ ожидается появление ВЭУ, вырабатывающих электроэнергию по цене, сравнимой с ценой электроэнергии, вырабатываемой паротурбинными электростанциями на газе.

2.4. КАКИЕ ФОРМЫ ПОДДЕРЖКИ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ ПРИМЕНЯЮТСЯ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ?

Поддержка развития использования возобновляемых источников энергии, в том числе ветроэнергетики, применяется правительствами практически всех стран. Приводим более подробные данные по трем странам.

Германия. Правительственная программа "Эльдорадо ветер", принятая в 1993 году, предполагала строительство 25 ветростанций общей мощностью 250 МВт, а также прямые инвестиции в поддержку промышленности. Это в совокупности с налоговыми льготами и другими мерами поощрения использования ветровой энергии привлекло частный капитал в объеме, превышающем на порядок правительственные инвестиции. В результате программа "Эльдорадо Ветер" многократно перевыполнена. Общая мощность ВЭУ увеличилась с 280 МВт в 1993 г. до 1576 МВт в 1996 году. Германия стала второй после США страной по мощности работающих ветроустановок. До настоящего времени действует следующая поощрительная мера. Владельцы ветроустановок помимо оплаты за электроэнергию при среднем тарифе 17 пфеннигов за 1 кВт·ч дополнительно получают от государства 6 пфеннигов за 1 кВт·ч при поставке электроэнергии в национальную энергосистему и 8 пфеннигов за 1 кВт·ч, когда сами потребляют энергию, вырабатываемую на ВЭС.

США. С начала 1980-х годов было проведено множество мероприятий по стимулированию использования возобновляемых источников энергии, как на федеральном уровне, так и на уровне штатов.

В настоящее время в некоторых штатах действует закон, обязывающий энергоснабжающие компании производить определенную часть электроэнергии от возобновляемых источников энергии. Законом об энергетической политике США 1992 года принято временное освобождение от налогов энергоснабжающих компаний в объеме 1,5 цент. за 1 кВт·ч. Введение временного освобождения от налога (по-американски "tax credit") – это кредит коммерческой деятельности, применяемый для налогоплательщиков, которые владеют и эксплуатируют ветроэнергетические станции и установки и передают электрическую энергию потребителям через собственную сеть или через сети энергосистемы. Этот кредит может распространяться на ВЭУ, введенные в эксплуатацию после 31 декабря 1993 года и может быть потребован к выплате в объеме платы за электроэнергию, выработанную ветроустановкой за первые 10 лет эксплуатации. Но может быть и не потребован к выплате.

Индия. Демонстрационные проекты ветростанций общей мощностью 50 МВт были осуществлены в 23 местах 9 штатов. Финансирование этих проектов на 90–70 процентов осуществлялось Центральным Правительством, а остальное – Правительствами штатов. Центральное Правительство провело следующие побудительные мероприятия для инвестиций в ветроэнергетику: освобождение от налогов на 5 лет, 100 % ускоренная амортизация, льготные таможенные пошлины на отдельные компоненты ветроустановок и скидка в размере 25 % на всю ветроустановку, а также посоветовало Правительствам штатов установить дотацию в размере 2,5 рупий на 1 кВт·ч энергии, вырабатываемой на ВЭС.

3. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

3.1. КАКОВ РЕАЛЬНЫЙ ВКЛАД ВЭС В ГЕНЕРИРУЕМУЮ МОЩНОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ? (ЕСТЬ ЛИ ЗАМЕЩЕНИЕ МОЩНОСТИ)

Тот факт, что при работе ВЭС экономится (замещается) топливо на тепловых электростанциях понятно и не специалисту. А термин "замещение мощностей" поясним на следующем примере.

Пусть максимум нагрузки в энергосистеме составляет 550 МВт и длится один час в определенное время суток в наиболее напряженные месяцы (декабрь, январь). В системе тепловая электростанция мощностью 500 МВт и ветростанция мощностью 50 МВт. Достаточно ли этого, чтобы на 100 % гарантировать бесперебойное энергоснабжение потребителей? Очевидно, что нет. Поскольку мы не можем гарантировать того, что в отмеченные нами моменты мощность, развиваемая ВЭС, будет 50 МВт. Но мы можем гарантировать, что она всегда, к примеру, будет не меньше 5 МВт и с вероятностью 50 % будет составлять 50 МВт. Этот случай означает, что наша ВЭС мощностью 50 МВт, обеспечила "вытеснение мощности" 5 МВт. И в энергосистеме должен находиться резерв мощности 45 МВт. На тот случай, если ВЭС не разовьет свою номинальную мощность. Этот пример при всей своей условности разъясняет проблему "вытеснения мощности", являющуюся самым уязвимым качеством ветровой энергии.

С этой точки зрения вопрос о точной величине вытесняемой мощности ветровой энергией зависит от многих факторов, в том числе от величины среднегодовой скорости ветра на месте установки ВЭУ и соответствием между распределением скорости ветра и нагрузкой энергосистемы. Если периоды наибольших ветров, да еще с относительно постоянной скоростью совпадают с максимумом нагрузки, то мы вправе говорить о существенном вытеснении мощности. Другими словами, мы можем до определенной величины уменьшать резервную мощность энергосистемы. Однако этот вопрос должен решаться на основе исследований в конкретных энергосистемах.

3.2. СКОЛЬКО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ НА ВЭС, В ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ МОЖЕТ БЫТЬ ПОСТАВЛЕНО В ЭНЕРГОСИСТЕМУ СТРАНЫ?

Рассмотрим этот вопрос на примере США и России.

США

Тихоокеанская Северо-Западная Лаборатория "Бателле" (Batelle) оценила, что при современной технологии ветровая энергия может составлять около 20 % всей годовой выработки США, т.е. ежегодно 560 млрд. кВт·ч. Хотя ресурсов ветровой энергии гораздо больше. Только в одном штате Северная Дакота на ветроэлектростанциях может быть установлена

мощность, способная произвести одну треть электроэнергии, потребляемой в США.

Около 1800 МВт составляет мощность ветроустановок, установленных в США. Они произвели в 1996 г. 3,6 млрд. кВт·ч электроэнергии.

Если принять удельный расход топлива на электростанциях на угле порядка 340 грамм условного топлива на 1 кВт·ч, то это означает экономию 1,2 млн. тонн в угольном эквиваленте.

Россия

Рабочая группа Минтопэнерго России, созданная в 1993 году для разработки "Концепции развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России" определила, что технический потенциал ветровой энергии составляет 6218 млрд. кВт·ч в год. Это почти в 10 раз превышает потребление электроэнергии в России в 1997 г. Однако этот потенциал распределен неравномерно. Перспективными регионами по применению энергии ветра являются:

Области: Архангельская, Астраханская, Волгоградская, Калининградская, Камчатская, Ленинградская, Магаданская, Мурманская, Новосибирская, Пермская, Ростовская, Сахалинская, Тюменская;

Края: Краснодарский, Приморский, Хабаровский;

Другие субъекты Российской Федерации: Дагестан, Калмыкия, Карелия, Коми, Ненецкий автономный округ, Хакасия, Чукотка, Якутия, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Перспективными являются также отдельные районы других краев, областей и республик Российской Федерации. Имеющийся потенциал используется в совершенно недостаточной мере. На сегодня в России функционируют ВЭС, подключенные к сетям энергосистем, общей мощностью 2,8 МВт, вырабатывающие около 4 млн. кВт·ч в год, в том числе:

Калмыцкая ВЭС – мощность 1 МВт (1 ВЭУ×1 МВт), разработчик – МКБ "Радуга", изготовитель – Тушинский машиностроительный завод. Проектная мощность – 22 МВт;

Воркутинская ВЭС – мощность 1,5 МВт (6 ВЭУ×250 кВт), разработчик НПО "Ветроэн", изготовители – НПО "Ветроэн" и ПО "Южмаш" (Украина). Проектная мощность – 2,5 МВт;

Ростовская ВЭС – мощность 0,3 МВт (10 ВЭУ×30 кВт),

разработчик и изготовитель — немецкая фирма Хузумер Шифтсверт с участием ПО "Ленподъемтрансмаш" и ассоциация "Совена".

Между тем в энергосистеме России, включая районы автономного энергоснабжения, экономически оправданная доля ветроэнергетики может составлять 3—4 % от общего электропотребления.

3.3. СКОЛЬКО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДАЕТ И МОЖЕТ ДАТЬ ВЕТЕР ВО ВСЕМ МИРЕ?

По данным научных исследований ветер может дать энергию, эквивалентную 5800×10^{15} (квад) BTUS (Британских тепловых единиц) ежегодно. Это превышает в 15 раз общее потребление энергии в мире. Каждый "квад" соответствует около 172 млн. баррелей нефти или 40 млн. т угля. В 1996 г. работает в мире примерно 30 000 ветроустановок общей мощностью 6172 МВт. Эти турбины генерируют в год более 10 млрд. кВт·ч электроэнергии.

3.4. КАК ОЦЕНИВАЮТ СПЕЦИАЛИСТЫ БЛИЖАЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ?

Как показано в табл. 1, установленная во всем мире мощность ветроустановок превысила 6100 МВт, к 2000 г. эта цифра удвоится, а к 2006 г. общая мощность ВЭУ увеличится почти в 6 раз и составит 36 000 МВт. Таковы прогнозы со-

Таблица 1

Перспективы развития ветроэнергетики мира (по оценкам Американской и Европейской ветроэнергетических ассоциаций)

Регионы	Установленная мощность в 1996 г., МВт	Вновь вводимая мощность, МВт			Установленная мощность в 2006 г., МВт
		1997 – 2000 гг.	2001 – 2006 гг.	1997 – 2006 гг.	
Европа Западная и Северная	3384	4820	9420	14310	17694
Америка Северная и Южная	1839	1250	5700	6950	8789
Азия, Новая Зеландия и Австралия	895	1540	4430	597	6895
Другие, в том числе Россия и страны СНГ	54	230	2265	2495	2549
ВСЕГО	6172	7840	21885	29725	35897

ставленные Европейской и американской ветроэнергетическими ассоциациями. По их прогнозам в России и странах СНГ к 2000 г. мощность ветроустановок достигнет 30 МВт, а к 2006 г. — 1020 МВт. Есть все возможности "оправдать" эти прогнозы.

3.5. СТРАНЫ-ЛИДЕРЫ ПО ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Ветроэлектростанции построены во всех частях света. На конец 1996 г. установленная мощность (в МВт) в 10 странах-лидерах составляла:

США	1794	Англия	264
Германия	1576	Испания	216
Индия	820	Швеция	105
Дания	785	Италия	70
Нидерланды	305	Китай	30

Впечатляющая картина! В десятку входят как самые богатые и самые развитые страны (США, Германия, Швеция), так и развивающиеся гигантские страны (Индия, Китай), а также небольшие европейские государства (Дания, Нидерланды). Это доказывает настоятельнейшую необходимость развития ветроэнергетики в России, несмотря на наши богатые запасы органического топлива.

4. ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

4.1. КАКОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ?

При работе ветроэнергетических установок не используется (потребляется) воздух и вода и не создается вредных отходов.

Рассмотрим экологические преимущества на примере США.

В 1994 г. ветроэнергетические станции штата Калифорния предотвратили эмиссию углекислого газа в объеме 1,8 млн. тонн, который был бы выброшен в атмосферу при работе электростанций на угле и природном газе — огневых электростанциях. Углекислый газ — первый из "газов земного до-

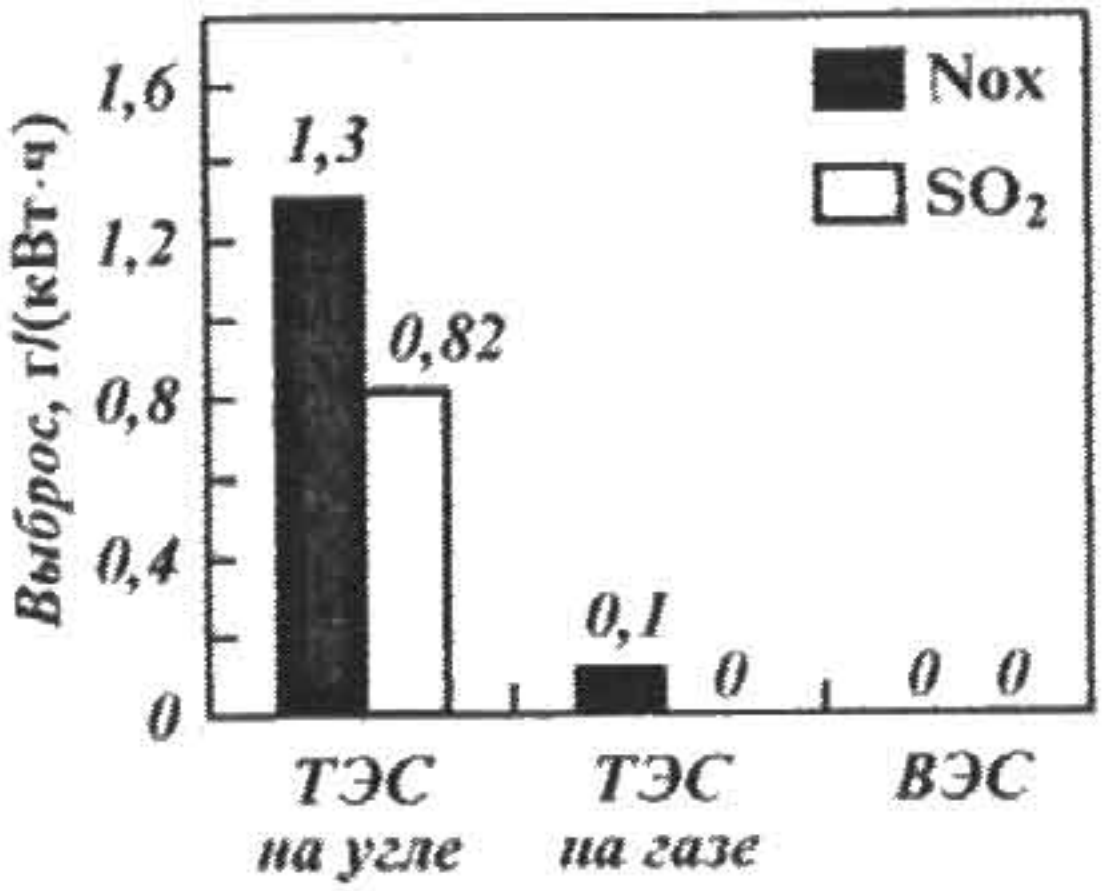


Рис. 5. Вредные газовые выбросы при работе электростанции на угле, на газе с комбинированным циклом и ВЭС (отсутствие выбросов)

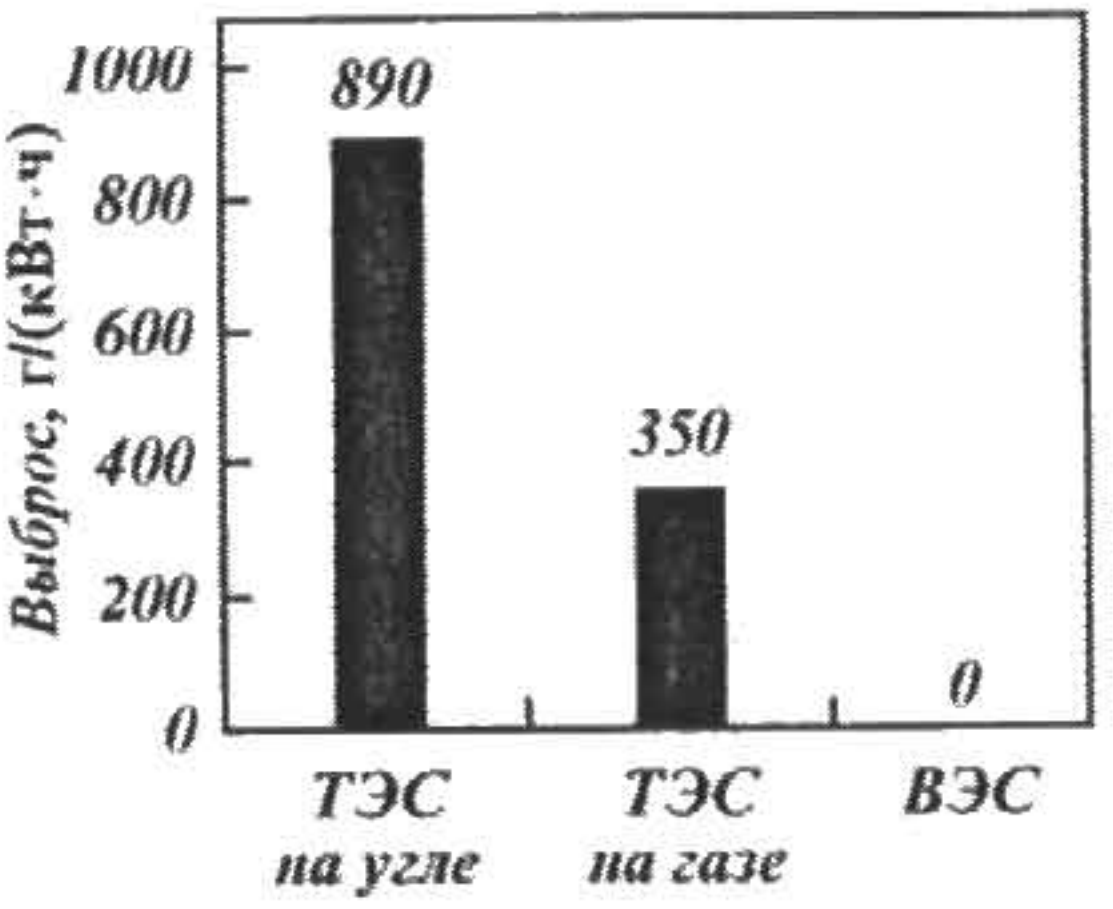


Рис. 6. Эмиссия (выбросы) углекислого газа CO_2 при работе электростанции на угле, на газе с комбинированным циклом и ВЭС (отсутствие выбросов)

ма", вызывающий глобальное потепление климата Земли. Если бы 3,3 млрд. кВт·ч выработанных ветровыми станциями в Калифорнии были генерированы путем сжигания истощаемого топлива, было бы дополнительно выброшено в атмосферу 27 тыс. т диоксида серы, оксида азота и мелких твердых частиц. Диоксид серы и оксид азота первые предвестники кислотных дождей. Также исключается эмиссия тяжелых металлов, таких как ртуть и мышьяк, содержащихся в угле. На рис. 5 и 6 показаны сравнительные данные по вредным выбросам для станций на угле, газе и ВЭС.

4.2. СУЩЕСТВУЮТ ЛИ КАКИЕ-НИБУДЬ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ?

Ветровые электростанции, как все другие энергетические технологии, имеют некоторое влияние на окружающую среду. Тем не менее, в противоположность большинству традиционных технологий, влияние ветроэнергетических систем локально, оно может контролироваться коммунальными властями, что, благодаря эффективному мониторингу, смягчает многие эффекты. Следующие локальные факторы, отрицательно влияющие на окружающую среду, могут считаться результатами развития ветроэнергетики:

Эрозия почвы, которая может быть предупреждена благодаря правильной технологии монтажа, строительства и работ.

Эрозия почвы должна быть предметом заботы в определенных местах, таких как пустыня, где твердое покрытие территории разрушается во время монтажа ветроустановки. В этом смысле строительство ВЭС ничем не отличается от строительства промышленных объектов и опор линий электропередачи.

Влияние на популяции птиц и животных. Этот фактор всегда должен учитываться при выборе места ВЭС. Безусловно, не следует выбирать место для ВЭС на путях сезонных миграций перелетных птиц. Однако, если речь идет об установке двух-трех ВЭУ, то вероятность столкновения птиц с ветроустановками даже в таких местах чрезвычайно мала, поскольку перелет птиц происходит на других высотах и вдали от населенных пунктов. В подавляющем большинстве случаев на действующих ВЭС не возникало проблем по этому поводу, единственное исключение составила ВЭС "Алтамонт Пасс" в США, на которой количество столкновений с ветроустановками возрастало какое-то время. Обычная картина на ветростанциях в Дании — чайка, парящая между ветроустановками, равно как и домашние животные, разгуливающие между ветроустановками. Спокойно чувствуют себя грызуны и койоты на ветростанциях штата Калифорния в США.

Визуальное вторжение, которое должно быть минимизировано благодаря осторожному проектированию ветростанций. Этот термин не очень понятен российскому человеку, поскольку архитектура промышленных зданий и их вписываемость в ландшафт вряд ли когда принимались во внимание. Тем не менее, положительное нужно перенимать и вносить в нашу практику проектирования. Используя ВЭУ одинакового типа мощности и расстояние между ними, получаем результат удовлетворяющий большинству эстетических концепций. Может быть использовано компьютерное моделирование для того, чтобы выбрать наиболее приемлемое вторжение в ландшафт, до того, как начнется строительство.

4.3. КАКОВА ШУМНОСТЬ ВЕТРОУСТАНОВОК?

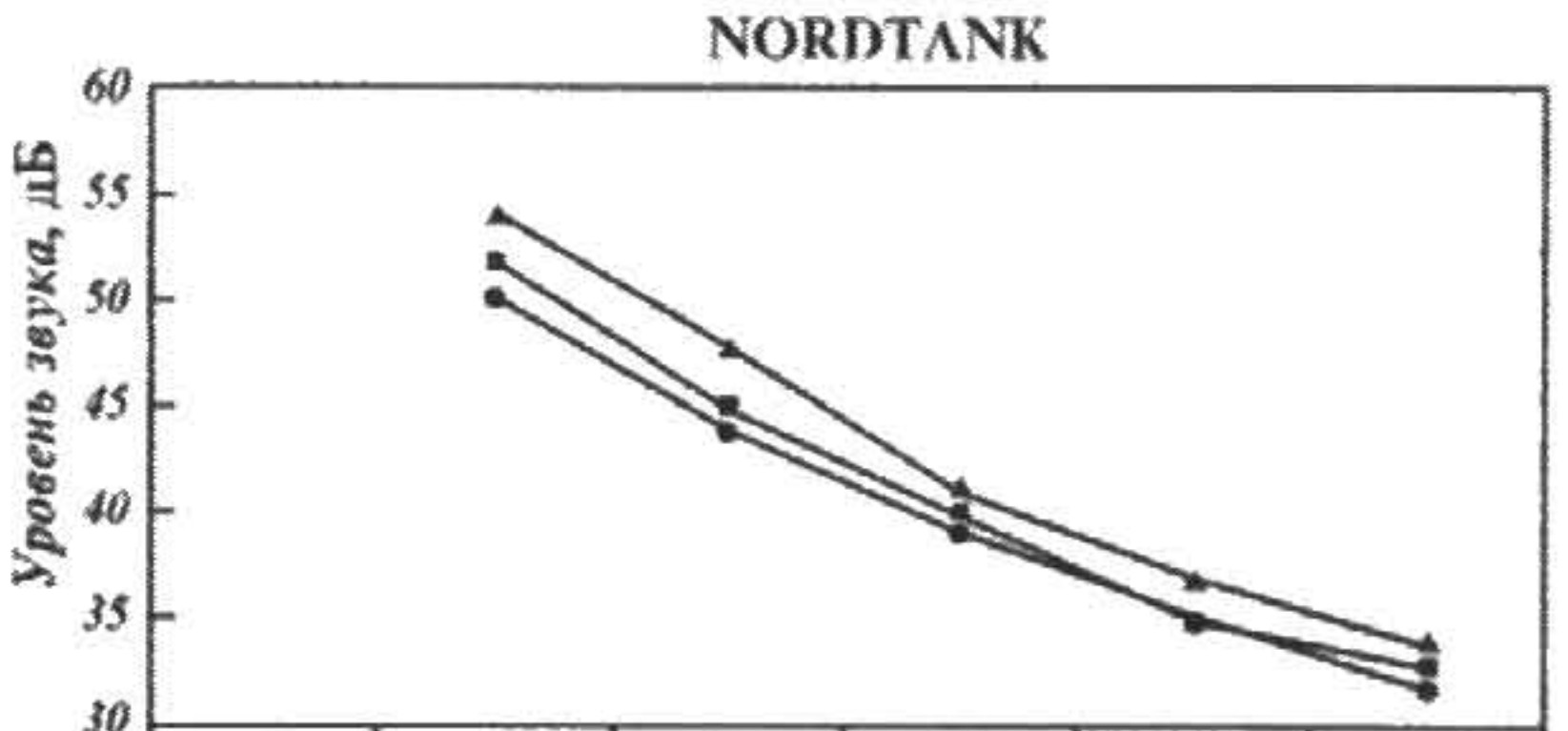
Шум, точнее так называемая его составляющая с низкой частотой, был проблемой для некоторых ранних проектов ветротурбин, но он был в значительной степени устранен инженерными способами. Аэродинамический шум был снижен путем выбора толщины краев лопастей, скорости вра-

щения и ориентации турбин на ветер, а также малым шумом механических компонентов ветротурбины.

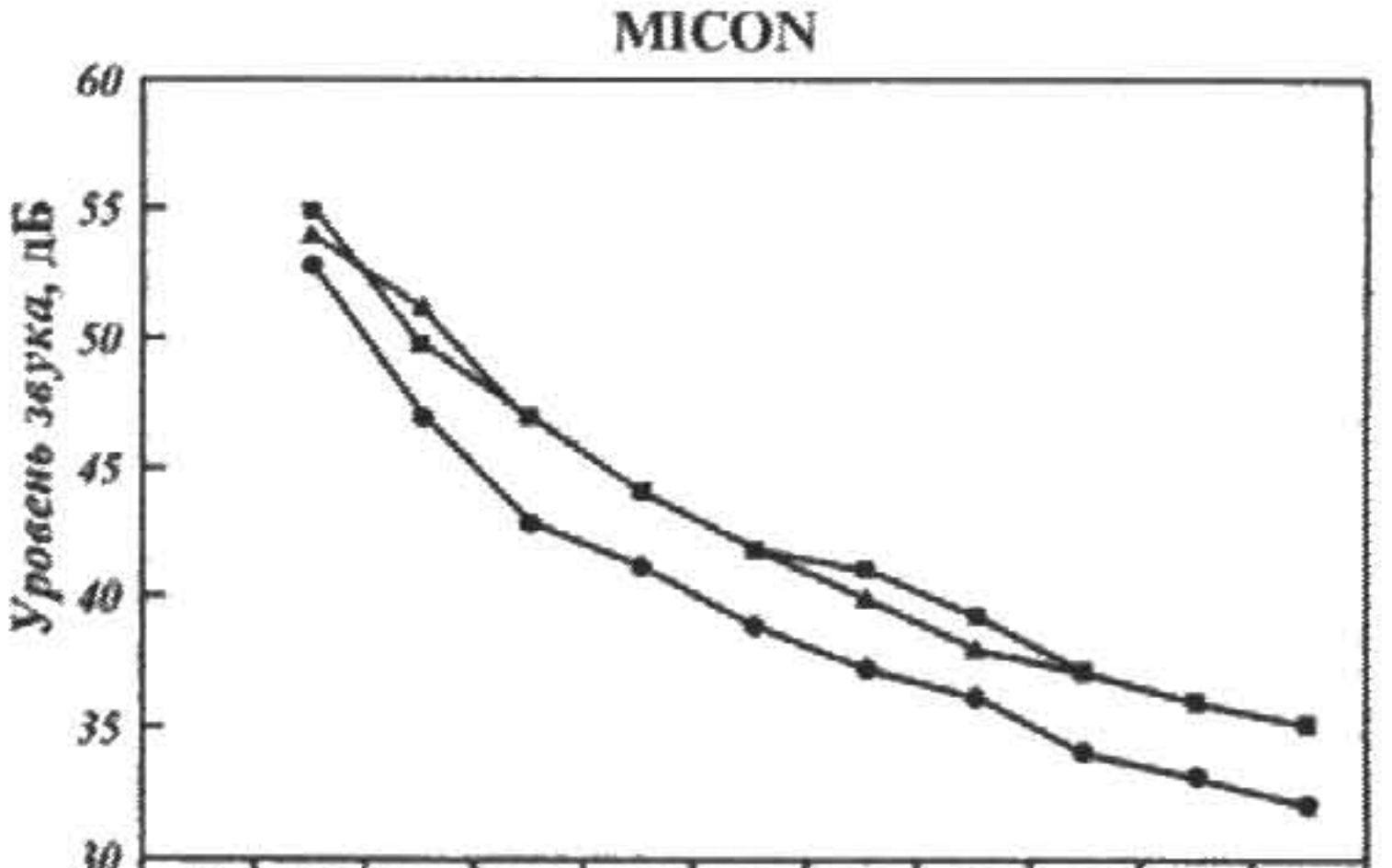
Ниже показано, что шум от ветротурбины на расстоянии 200 м почти такой же, как от холодильника на кухне.

Средний уровень шума, дБ

Работа ВЭУ мощностью 300 кВт у основания башни	95–98
То же, на расстоянии 200 м	45
Взлет реактивного самолета	120
Движение автомобилей по автостраде	70
Погрузка мусора в мусоровоз	100
Работа газонокосилки	90
Работа холодильника	40



Расстояние, м	0	50	150	250	350	450
NTK 150/25	94,9	50	44	39	35	32
NTK 300/31	98,4	52	45	40	35	33
NTK 500/37	99,7	54	48	41	37	34



Расстояние, м	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
M700-225/40 kW	96,9	53	47	43	41	39	37	36	34	33	32
M750-400/100 kW	99,8	55	50	47	44	42	41	39	37	36	35
M1500-600/150 kW	99,9	54	51	47	44	42	40	38	37	36	35

Рис. 7. Зависимость уровня звука (шума) от расстояния до ветроагрегатов фирм "NORDTANK" и "MICON"

Отсюда следует правило выбора площадки для ВЭС. Край площадки не должен располагаться ближе, чем 200 м от ближайшего жилого дома.

На расстоянии 300 м шум от большинства современных ветротурбин не превышает 40 дБ. На рис. 7 дана зависимость уровня звука от расстояния для ветротурбин датских фирм "NORDTANK" и "MICON".

4.4. СКОЛЬКО ЗЕМЛИ НУЖНО ДЛЯ ВЭС?

На этот вопрос нет однозначного ответа. Рассмотрим два крайних случая.

Первый — строительство одной-двух установок индивидуального владельца на пахотной земле. На одну установку в этом случае требуется площадка под фундамент ВЭУ и под дорогу к ней.

Для ВЭУ мощностью 500 кВт под фундамент, включая комплектное трансформаторное устройство, достаточно площади $20 \times 20 = 400$ м^2, под дорогу шириной 5 м и длиной 300 м требуется площадь 1500 м^2. Удельная площадь составит 3,8 м^2/кВт. Вся оставшаяся площадь может использоваться для огородничества или животноводства, как это обычно делается в Дании.

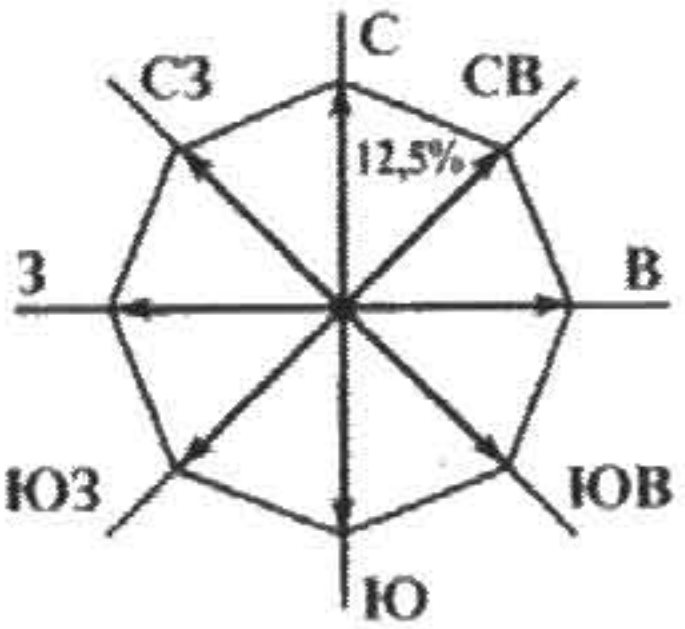
Второй случай — строительство ВЭС мощностью 50 МВт. ВЭУ единичной мощности 500 кВт. Количество ветроустановок 100 шт.

Если вероятность направления скорости ветра ("роза ветров") примерно одинакова по всем румбам, то ВЭУ должны располагаться на расстоянии друг от друга равном 10 диаметрам ротора, который для принятых в примере ВЭУ равен 40 м.

В этом случае площадь под ВЭС будет равна $(400 \times 9) \times (400 \times 9) = 12\,960\,000$ м^2 или 1296 га. Удельная площадь составит 260 м^2/кВт.

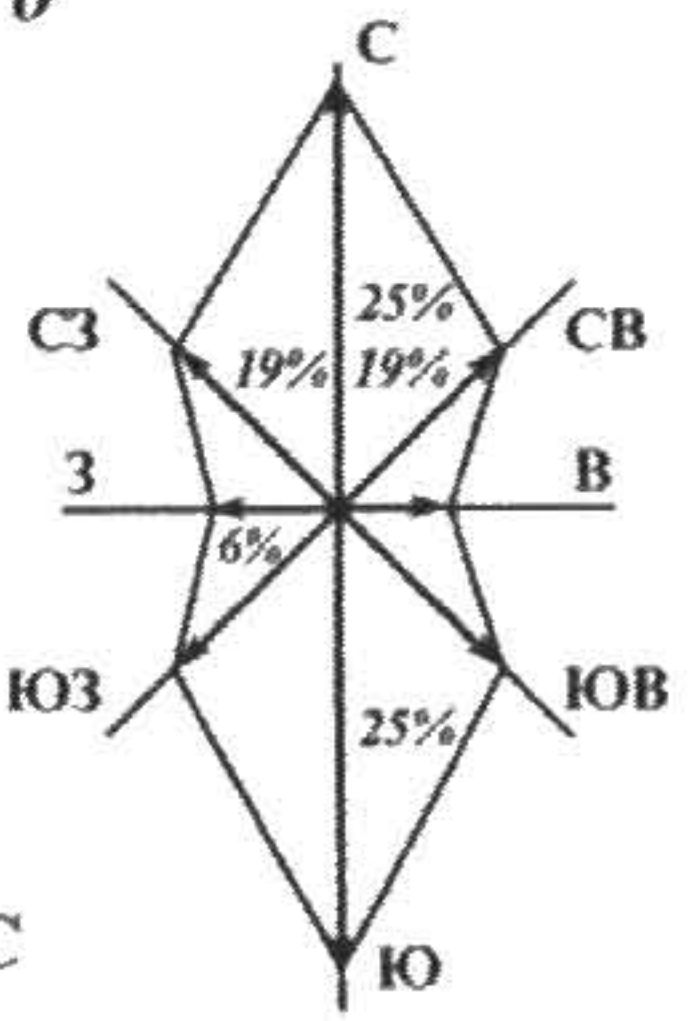
Следует иметь в виду, что практически всегда имеется возможность для больших ВЭУ выбирать земли, непригодные для хозяйственной деятельности. Если же под ВЭС занимаются плодородные земли, то они могут использоваться для растениеводства и животноводства. В этом состоит коренное отличие землеотвода под ВЭС от землеотвода под тепловые станции и гидростанции.

а

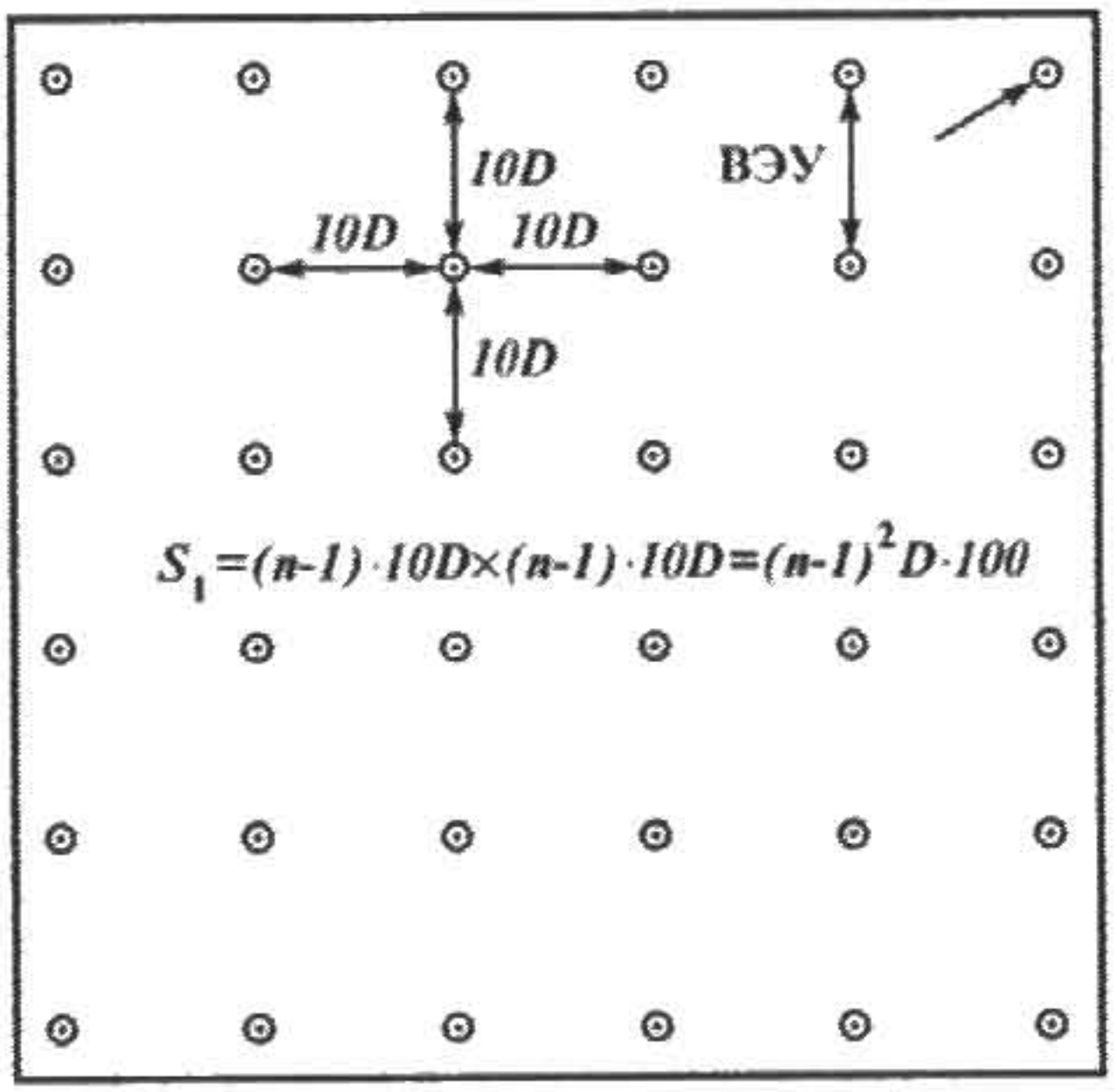


Розы ветров

б



Площадки ВЭС



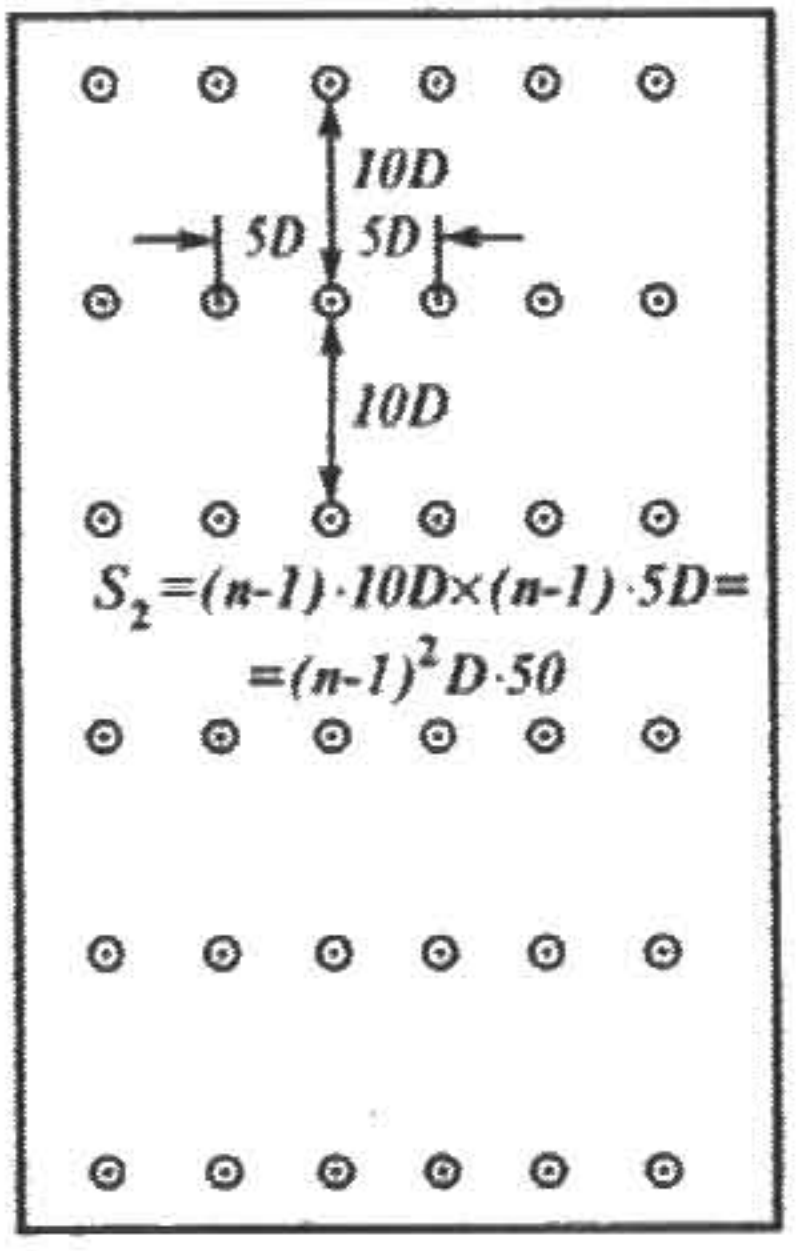


Рис. 8. Зависимость площади, занимаемой ВЭС, от распределения скоростей ветра по направлениям по 8 румбам (розы ветров):
а – расположение ветроагрегатов при равномерном распределении скорости ветра. Расстояние между ветроагрегатами должно быть не менее 10 диаметров ветроколеса. При этом общая площадь, м², равна:
$S = (n-1)\times 10D\times(m-1)\times 10D = (n-1)(m-1)D^2\times 100.$
б – расположение ветроагрегатов при преимущественном распределении скорости ветра по двум направлениям С-Ю. Расстояние между ВЭУ по направлению, перпендикулярному направлению С-Ю, можно сократить до 5 диаметров ветроколеса. Требуемая площадь под ВЭС, м², сокращается в два раза:
$S = (n-1)\times 10D\times(m-1)\times 5D = (n-1)(m-1)D^2\times 50,$
где n – количество ветроустановок в ряду, m – количество рядов

Имеются также возможности сокращения площади под ВЭС, если "роза ветров" имеет преимущественное направление (рис. 8).

5. МАЛЫЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

5.1. ЧТО ТАКОЕ МАЛАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА?

Слово "малая" в этом случае означает ветроустановку мощностью от 40 Вт до 10 кВт. Предназначены они для различных нужд от простой зарядки автомобильного аккумулятора до обеспечения энергией фермерского хозяйства или электрическим освещением нескольких домов.

А слово "система" употребляется потому, что к ветроустановке обычно придается еще аккумулятор и устройство за-

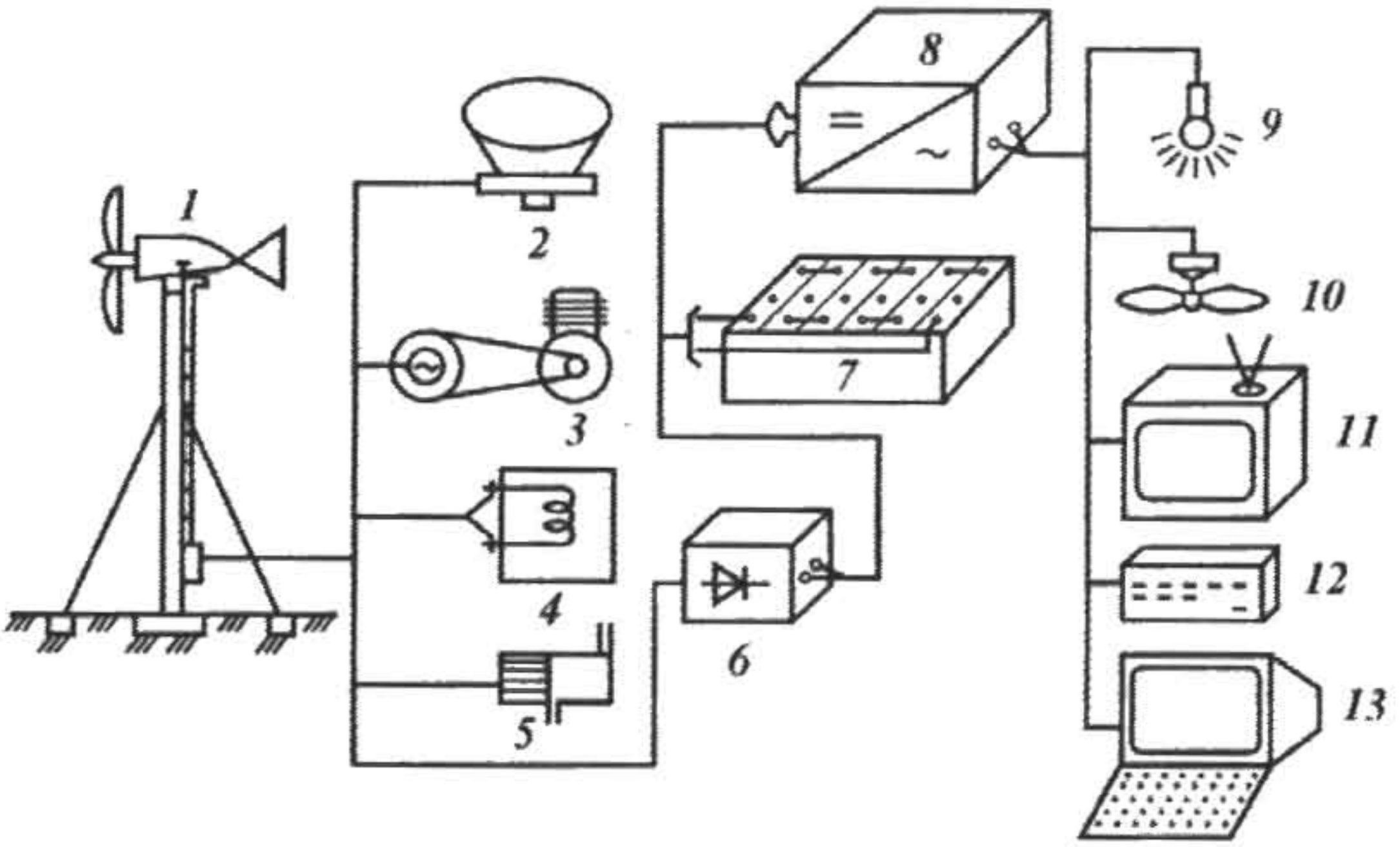


Рис. 9. Схема малой ветроэнергетической системы с потребителями:
2÷5 – потребители, допускающие широкие пределы изменения напряжения (±20 %) и частоты (±10 %), работа которых может быть приурочена к наличию ветра, могут подключаться непосредственно к ветроустановке на напряжение 380 В переменного тока (трехфазного или однофазного);
9÷13 – потребители, допускающие узкие пределы изменения напряжения (±5 %) и частоты (±2 %), работа которых приурочена к потребностям человека, могут подключаться к аккумуляторной батарее через инвертор.
Условные обозначения: *1* – ветроустановка, обеспечивающая поддержание напряжения в пределах ±10 % от номинального 380 В, и частоты ±10 % от номинального 50 Гц; *2* – соломорезка (измельчитель); *3* – компрессор; *4* – нагреватель воздуха или воды; *5* – насос; *6* – выпрямительно-зарядное устройство; *7* – аккумуляторная батарея; *8* – инвертор; *9* – электролампа; *10* – аэрокондиционер; *11* – телевизор; *12* – приемник; *13* – персональный компьютер

щиты и управления заряд-разрядом аккумулятора. Такие системы обычно выполняются на напряжение 12 В постоянного тока. При этом возникает необходимость приобретать бытовую аппаратуру (светильник, приемник, телевизор) тоже на 12 В постоянного тока. В такой комплектации система может использоваться, как правило, для временного или кочевого образа жизни.

Для стационарного жилья и производственных нужд фермерского хозяйства нужна электрическая энергия на напряжение 380 В переменного тока. В этом случае к системе на постоянном токе добавляется устройство, называемое инвертором, который преобразует постоянный ток в переменный. Если же от ветроустановки получают переменный ток 380 В, то такая система снабжается выпрямителем для зарядки аккумулятора и инвертором для электроснабжения потребителей от аккумулятора, когда нет ветра, а также для питания электроприборов, требующих повышенного качества электроэнергии. На рис. 9 показана конфигурация системы, в которой неответственные потребители питаются непосредственно от ВЭУ, а ответственные через инвертор, который обеспечивает поддержание частоты и напряжения в соответствии с требованиями ГОСТ.

5.2. СКОЛЬКО ЗЕМЛИ НУЖНО ПОД МАЛЫЕ ВЕТРОУСТАНОВКИ?

Для ветроустановки мощностью до 0,5 кВт площадь, требуемая для установки башни очень мала. Это может быть всего 1 кв. м. Для ветроустановки мощностью 5–10 кВт нужна площадка 20×20 м, если башня крепится на растяжках.

5.3. КАКИХ РАЗМЕРОВ БАШНЮ ИСПОЛЬЗУЮТ ДЛЯ МАЛЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК?

Обычная высота башни, которая поставляется вместе с ветроустановкой — между 16 и 24 метрами. Башни такой высоты позволяют преодолеть турбулентность, вызванную препятствиями (здания, деревья). Одновременно при увеличении высоты увеличивается скорость ветра, что, как сказано выше, существенно увеличивает выработку электроэнергии.

5.4. КАКОВА СТОИМОСТЬ МАЛЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КТО ИХ ПРОИЗВОДИТ?

Пожалуй, это единственный раздел, где мы можем дать сравнение зарубежной и отечественной техники, не уступающей зарубежным образцам.

Сначала о данных по зарубежным системам. Сразу надо сказать, что удельная стоимость малых систем гораздо выше, чем системных ветроустановок. Как было сказано ранее, удельная стоимость системных ветроустановок составляет 1000 долл. США за 1 кВт и менее, аналогичные данные для малых ветроустановок 2000 долл. США за 1 кВт и выше. Это закон техники. Чем больше единичная мощность, тем меньше удельная стоимость. Контрольные цифры названы выше. Необходимую ориентировку в ценах зарубежных малых ветроустановок дает рис. 10, где показано как уменьшается удельная стоимость малых ветроустановок по мере увеличения диаметра ротора. На рисунке показана удельная стоимость по мощности и ометаемой поверхности. Ометаемая поверхность — это площадь круга, который описывают

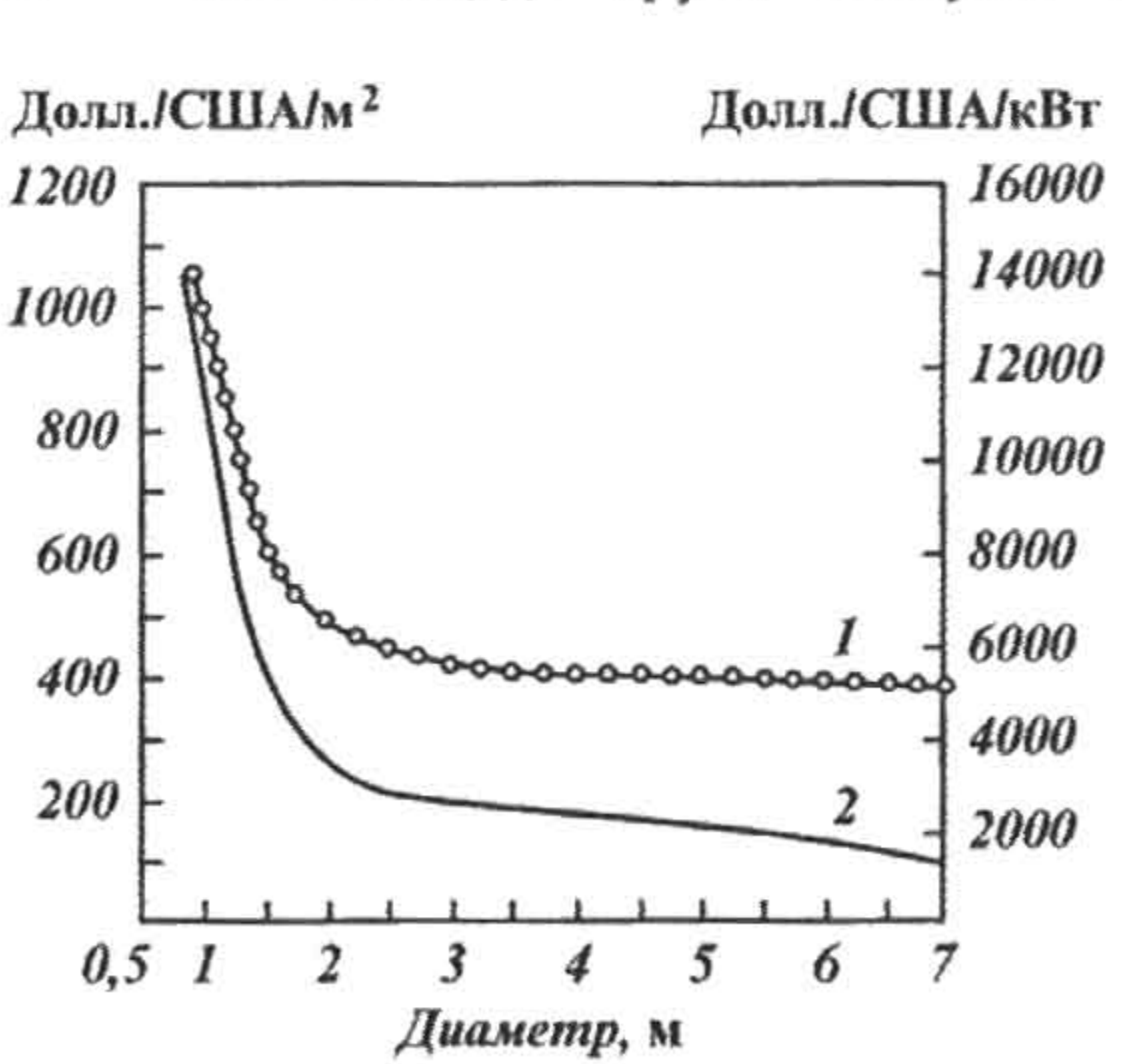


Рис. 10. Зависимость удельной стоимости малых ветроустановок от диаметра ротора:
1 — удельная стоимость на 1 м² ометаемой поверхности; *2* — удельная стоимость на 1 кВт установленной мощности

вращающиеся лопасти. Еще раз подчеркнем, что приведенная выше кривая дает ориентировку в заводской цене и справедлива была для начала 1990-х годов. Она позволяет оценить добросовестность фирм, предлагающих Вам свой товар. Стоимость системы, как правило, больше на 30—80 % в зависимости от комплектации.

Но за рубежом существуют еще и другие оценки выгодности использования малых ветроэнергетических систем для удаленных от сетей потребителей. А именно, сравнение стоимости электроэнергии, вырабатываемой на базе других возобновляемых и невозобновляемых источников. Зачастую малые ветроэлектрические системы оказываются наиболее приемлемым вариантом решения проблемы энергоснабжения удаленных сельских потребителей, а также геологов, пастухов, охотников, старателей и людей многих других профессий, живущих в стороне от благ цивилизации (рис. 11). Основные технические параметры выпускаемых за рубежом установок приведены в табл. 2.

Малые ветроэнергетические системы (установки) выпускаются и в России. Наибольших успехов, на наш взгляд, добился ЦНИИ "Электроприбор" (Санкт-Петербург). Изготав-

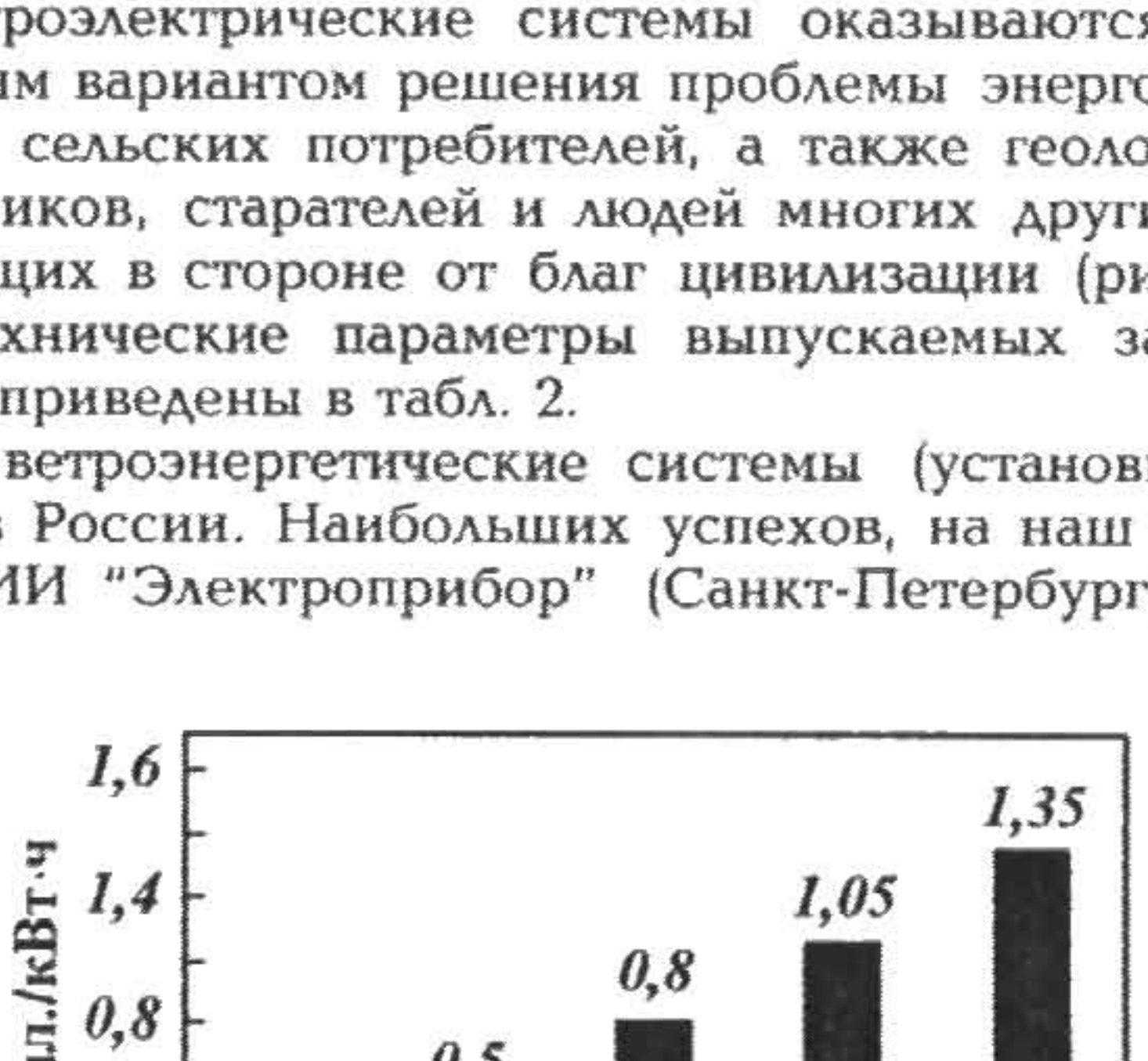


Рис. 11. Стоимость электроэнергии при электроснабжении от различных энергоисточников удаленных населенных пунктов с общим энергопотреблением 50 кВт·ч в сут.
(Источник: "Возобновляемая энергия для сельского хозяйства и здравоохранения", США, Агентство Международного Развития)

Таблица 2

Основные технические данные зарубежных ветроагрегатов малой мощности

Фирма-изготовитель	Тип (модель)	Диаметр ротора, м	Омета-емая поверхность, $м^2$	Номинальная мощность, кВт	Расчетная скорость ветра, м/с	Число лопастей, материал	Способ регулирования
Marlec	Rutland 500	0,5	0,2	0,02	10	6, нейлон	H
L.V.M.	Aerogen 25	0,6	0,3	0,01	10,3	5, нейлон	H
L.V.M.	Aero 3gen	0,9	0,6	0,05	8,5	6, нейлон	H
Marlec	Rutland 910	0,9	0,6	0,07	10	6, нейлон	H
L M W	150	1,5	1,8	0,15	10	3, фиберглас	V
L.V.M.	Aero 5gen	1,5	1,8	0,2	13	3, ламинир. дерево	H
Wind Baron	Neo 500	1,5	1,8	0,5	12	2, дерево	V
L M W	250	1,7	2,3	0,25	10	3, фиберглас	V
Marlec	Rutland 1800	1,8	2,5	0,25	9,4	3, фиберглас	H
SOMA	FP 400	2	3,1	0,4	10	2, фиберглас	V
Wind Power Technologies	600	2,1	3,5	0,6	11	2, дерево	V
L M W	600	2,2	3,8	0,6	12	2, фиберглас	H
Bergey Wind Power	750	2,2	3,8	0,75	12,1	3, фиберглас	H
L M W	1000	2,5	4,9	1,0	12	3, фиберглас	H
Survivor Energy Systems	S-3000	2,7	5,7	0,5	9	3, фиберглас	V
Wind Power Technologies	1000	2,7	5,7	1,0	12	2, дерево	V
Northern Power Systems	HR1	3	7,1	1,0	12	3, ламинир. дерево	V
L M W	1003	3	7,1	1,1	7	3, фиберглас	H
Bergey Wind Power	1500	3,1	7,3	1,5	12,5	3, фиберглас	H
Wind Power Technologies	3000	4,5	15,9	3	11	2, дерево	V
L M W	2500	5	19,6	2,5	12	3, фиберглас	H
Northern Power Systems	HR3	5	19,6	3	12,5	3, ламинир. дерево	V

Продолжение табл. 2

Фирма-изготовитель	Тип (модель)	Диаметр ротора, м	Омета-емая поверх-ность, $м^2$	Номи-нальная мощ-ность, кВт	Расчет-ная ско-рость ветра, м/с	Число лопастей, материал	Способ регули-рова-ния
L M W	3600	5	19,6	3,6	12	3, фиберглас	H
Aerowatt	UM 50X	5	19,6	6	11,5	2, ламинир. дерево	P
Aerowatt	UM 70X	7	38,5	10	12	2, ламинир. дерево	P
Bergey Wind Power	EXEL	7	38,5	10	12,1	3, фиберглас	H

Примечание. Регулирование осуществляется тем, что по мере достижения наибольшей скорости вращения ротор начинает уходить из-под ветра в горизонтальной плоскости (в таблице – "H") или в вертикальной плоскости) (в таблице – "V"). И только у ветроагрегатов фирмы "Aerowatt" регулирование осуществляется поворотом лопасти и частично профилем лопасти (в таблице – "P").

Таблица 3

Основные технические данные отечественных ветроагрегатов малой мощности

Тип (модель)	Диаметр ротора, м	Омета-емая поверх-ность, $м^2$	Номи-нальная мощ-ность, кВт	Расчет-ная ско-рость ветра, м/с	Число лопас-тей	Способ регулирования
АО ТОРНАДО*						
АВЭ-0,14	1,6	2	0,14	7,5	3	Изменением положения оси вращения
АВЭ-0,25	2,5	4,9	0,25	6,4	2	Центробежно-аэродинамическое
АВЭ-4	6,6	34,2	4	9	2	То же
АВЭ-16	8	50,3	16	9	2	"
ГМКБ Радуга*						
Радуга-001	4,8	18,1	1,0	7,1	3	–
Радуга-008	10	78,5	8,0	7,8	3	–
ГНЦ РФ ЦНИИ "ЭЛЕКТРОПРИБОР"*						
УВЭ-300/24-2,2	2,2	3,8	0,55	8	3	Центробежно-аэродинамическое
УВЭ-1000	3,3	8,6	1,0	10	3	То же
УВЭ-40	1,5	1,77	0,044–0,1	6,5	3	"
УВЭ-100	1,5	1,77	0,1–0,2	6,5–12	3	"

Продолжение табл. 3

Тип (модель)	Диаметр ротора, м	Омываемая поверхность, $м^2$	Номинальная мощность, кВт	Расчетная скорость ветра, м/с	Число лопастей	Способ регулирования
НПК "ВЕТРОТОК"*						
ВУЭ-16	6,5	33,2	16	17,5	2	Центробежно-аэродинамическое
Рыбинский завод приборостроения*						
ВЕТЭН-0,16	1,6	2	0,16	7	3	Центробежно-аэродинамическая
ВТН8-8	8,45	62,5	8,0	9	2	То же
Щексна-1			0,5	8	2	"
Щексна-2			1,0	8	2	"
АОЗТ "Элмотрон"*						
ВЭС-5-2	4,8	18,1	2/4	8/14	3	Балластное сопротивление
ПВЭС-1	1,5	1,77	0,15	8	2	То же
АОЗТ "Элмотрон" + АО "Долина"*						
ВЭС-2	4,8	2/4	8/14	3		Балластное сопротивление
ВЭС-5	8	50,3	5/10	8/14	3	То же
ВЭС-1	3,6	11,34	1/2	8/14	3	"
АО "Ветроэнергомаш"*						
ВЕТЭН-0,1	1,5	1,77	0,1	7,5	3	Центробежно-аэродинамическое

*Фирма-изготовитель.

ливаемые им ветроустановки не уступают по качеству зарубежным, выпускаются в необходимой комплектации и существенно дешевле зарубежных. Основные технические данные приведены в табл. 3.

6. КОМБИНИРОВАННЫЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

6.1. ПОЧЕМУ КОМБИНИРОВАННЫЕ?

За рубежом такие системы называют гибридные. А название их проистекает оттого, что в таких системах используется оборудование, работающее на базе различных возобновляемых и невозобновляемых источников энергии. Вот некоторые, наиболее распространенные сочетания:

ветроустановка + фотоэлектрическая батарея + аккумуляторная батарея;

ветроустановка + микро или малая ГЭС;

ветроустановка + дизель-генератор + аккумуляторная батарея.

Конечно, комбинированные системы дорогие, но они могут обеспечивать бесперебойное энергоснабжение наиболее ответственной нагрузки.

6.2. КАКОЙ ГЛАВНЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ В РОССИИ?

Есть основание предполагать, что наиболее актуальный вопрос — развитие ветродизельных систем. В самом деле, подавляющее большинство поселков, деревень, районных центров и даже городов, не подключенных к энергосистемам, получают электрическую энергию от дизельных электростанций. Это характерно для побережья Северного Ледовитого океана, Чукотки, Магаданской области, Якутии, Дальнего Востока, Сибири. А дизельное топливо все дорожает, его доставка в отдаленные районы стоит столько же, сколько доставляемое топливо, да и на доставку топлива сжигается топливо, иногда в количестве, равным доставляемому топливу. Так что везде, где есть ветер, а он в названных регионах имеется в избытке, необходимо к существующим дизельным станциям подключать ветроустановки. В зависимости от среднегодовой скорости ветра и графика нагрузки параллельная работа ветротурбины и дизель-генераторов может сэкономить от 15 до 40 % годового потребления топлива.

Для таких систем нужны ветроустановки 10 – 20 – 30 – 50 – 100 – 150 – 200 – 250 – 300 – 400 – 500 и 600 кВт. Этот ряд ветроустановок охватывает все возможные варианты электроснабжения — от умирающей деревни (два-три дома) до энергоузла, содержащего промышленные предприятия с нагрузкой в несколько десятков МВт.

6.3. ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ О ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ?

Прежде всего, надо знать, что ветроустановка одна, без дизель-генератора работать не может. У нее нет надежных способов поддерживать частоту тока на уровне требований

стандарта, да и напряжение она тоже поддерживать не может, поскольку, как правило, снабжается асинхронным генератором. Более того, при совместной (точнее сказать параллельной) работе ветроустановки с дизель-генератором должно соблюдаться правило, что мощность дизеля должна быть, по крайней мере, в два раза выше мощности ветроустановки в

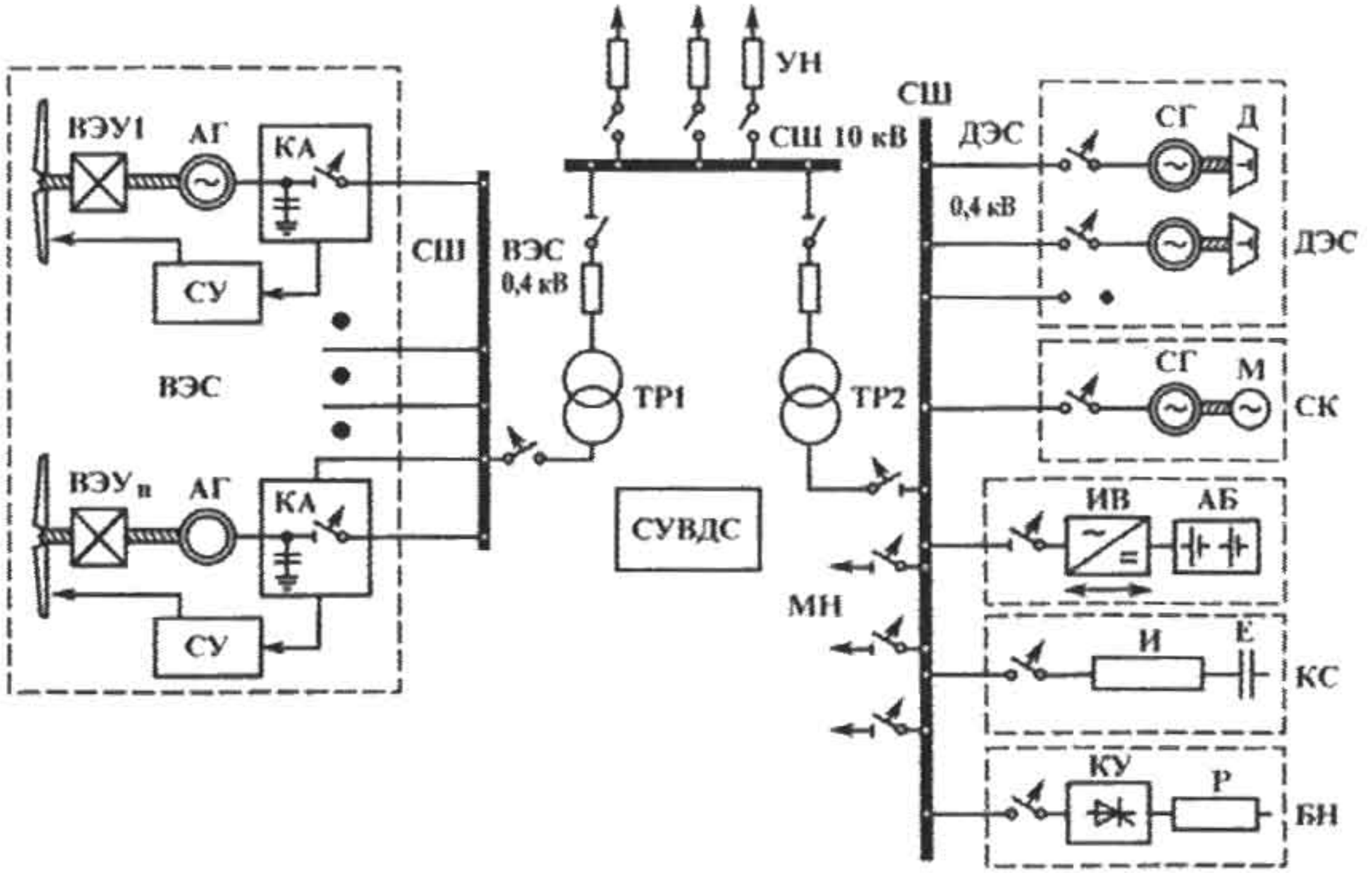


Рис. 12. Обобщенная схема ветродизельной станции.
Ветроэлектростанция (ВЭС) содержит "n" ВЭУ, оснащенных асинхронными генераторами с напряжением 0,4 кВ, системой управления (СУ), коммутационной аппаратурой (КА).
Дизельная станция (ДЭС) содержит "n1" дизель (Д), оснащенный синхронным генератором с напряжением 0,4 кВ. МН и УН – местная и удаленная нагрузка. СУВДС – система управления ветродизельной станции, обеспечивающая поддержание частоты и напряжения, а также включение и отключение любого оборудования, сигнализацию неисправностей и измерения.
Устройства, обеспечивающие параллельную работу ВЭС и ДЭС:
а) синхронный компенсатор (СК), состоящий из синхронного генератора (СГ) и разгонного двигателя (М); б) ведомый сетью инвертор-выпрямитель (ИВ) с аккумуляторной батареей; в) компенсатор статический (КС), содержащий емкость (Е) и индуктивную катушку (И); г) балластное сопротивление (БН), содержащее резисторы (Р) и тиристорный ключ управления.

Примечания к рис. 12: 1. Здесь показаны все возможные устройства, обеспечивающие параллельную работу. В конкретном случае бывает достаточно использовать один или два из них. 2. Схема изображена для случая, когда напряжения генераторов дизельной станции принято 0,4 кВ. Для крупных ДЭС используются дизель-генераторы на напряжение 6 или 10 кВ. Тогда трансформатор ТР1 от ветростанции подключается непосредственно на шины дизельной станции, а указанная нагрузка питается через трансформатор 6(10)/35 кВ.

каждый данный момент. Поэтому выбор мощности ветроустановки, подключаемой к существующей дизельной станции, — вопрос не простой и должен осуществляться специалистами.

Если указанное выше соотношение мощностей не может быть осуществлено прямым подбором мощности ветроустановки, то применяют другие способы осуществления параллельной работы. Наиболее простой — это подключение дополнительной "балластной" нагрузки, в зарубежных источниках она называется "необязательной". Эта нагрузка подключается через специальное устройство к шинам ветродизельной станции и ее величина меняется автоматически так, чтобы обеспечить поддержание стандартной частоты. Если же в качестве "балластной" нагрузки использовать электрокотел, то можно превратить "балластную", т.е. ненужную нагрузку в полезную — получение горячей воды (рис. 12).

Существуют и другие способы обеспечения параллельной работы ветровых и дизельных генераторов на общую нагрузку, выбор которых зависит от возможностей заказчика и многих местных условий. Выбор способа — за специалистами. Полная схема такой установки показана на рис. 12.

7. ИНФОРМАЦИЯ ПО ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ

7.1. С ЧЕГО НАЧИНАТЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЭС?

Если Вы решили построить любую ветроустановку, а особенно средней и большой мощности, нужны надежные данные о ветре. Не просто данные, а его энергетические характеристики: среднегодовая скорость ветра, годовой ход ветра, т.е. средняя скорость ветра по месяцам года, распределение скорости ветра по направлениям и по градациям скорости, т.е. вероятность того, что средняя скорость ветра будет находиться в определенных диапазонах и еще многое другое. Обычно, эти данные берутся от ближайшей метеостанции. И если между ней и будущей площадкой ВЭС расстояние невелико (10—20 км) и нет препятствий (холмы, здания, лес), то на эти данные можно смело положиться и решать вопрос о строительстве ВЭС. А если ближайшая метеостанция далеко (30 км и более) или между ней и площадкой существуют естественные и искусственные препятствия, то необходимо

обеспечить измерения ветроэнергетических характеристик непосредственно на площадке, т.е. поставить мачту высотой не менее 10 м и смонтировать систему измерения ветра. Для того чтобы дать заключение об экономической целесообразности строительства ВЭС. Нужды данные измерений скорости ветра, по крайней мере, в течение года. Зная эти данные можно с использованием существующих методов и компьютерных программ рассчитать ожидаемые среднемноголетние значения скорости ветра и другие характеристики ветра с достаточно высокой вероятностью. Ждать целый год, когда появятся надежные данные о ветре, не очень то хочется, если ветра такие, что "шапку срывает с головы". В этом случае можно и сократить время предварительных измерений до полугода, но при этом возникает риск существенно ошибиться в экономических оценках. Будущий проектировщик обязан рассчитать Вам минимально и максимально возможную выработку электроэнергии и таким образом определить степень риска.

7.2. КАК НЕ ОШИБИТЬСЯ В ГЛАВНОМ?

Расчет возможной выработки электроэнергии, а это будущий товар и оправдание затрат, не очень сложен, но и не прост. Мы даем заказчику простейший способ в течение 5—10 минут определить достоверность предлагаемых расчетов, ориентируясь на опыт эксплуатации существующих ВЭС. А он говорит о том, что среднегодовая удельная выработка электроэнергии (в кВт·ч) на 1 м^2 ометаемой поверхности ветроустановки мощностью 100 кВт и выше от Америки до Европы находится в пределах:

США.....	720—800
Германия.....	750—800
Дания.....	780—850

На лучших датских установках достигнута удельная среднегодовая выработка 1250—1500 кВт·ч/м^2.

Как только Вам назвали предполагаемую годовую выработку электроэнергии от ВЭУ, определите ометаемую поверхность по формуле: $A = 0{,}785\ D^2$, где D — диаметр ротора ветроустановки, разделите годовую расчетную выработку на ометаемую поверхность и сравните с приведенными выше цифрами.

7.3. ЧЕМУ НЕ СТОИТ УДИВЛЯТЬСЯ?

Ветер дует, а ВЭУ не вращается. В чем дело? Если отбросить случаи остановок из-за неисправности, то дело может быть только в самом ветре. Стартовая скорость большинства современных ВЭУ находится в пределах 4–5 м/с. Но нужно, чтобы скорость ветра продержалась на этом уровне не менее 10 мин, только тогда автоматика даст разрешение на пуск ветроустановки. Поэтому кратковременные порывы ветра в счет не идут, если длятся менее 10 мин.

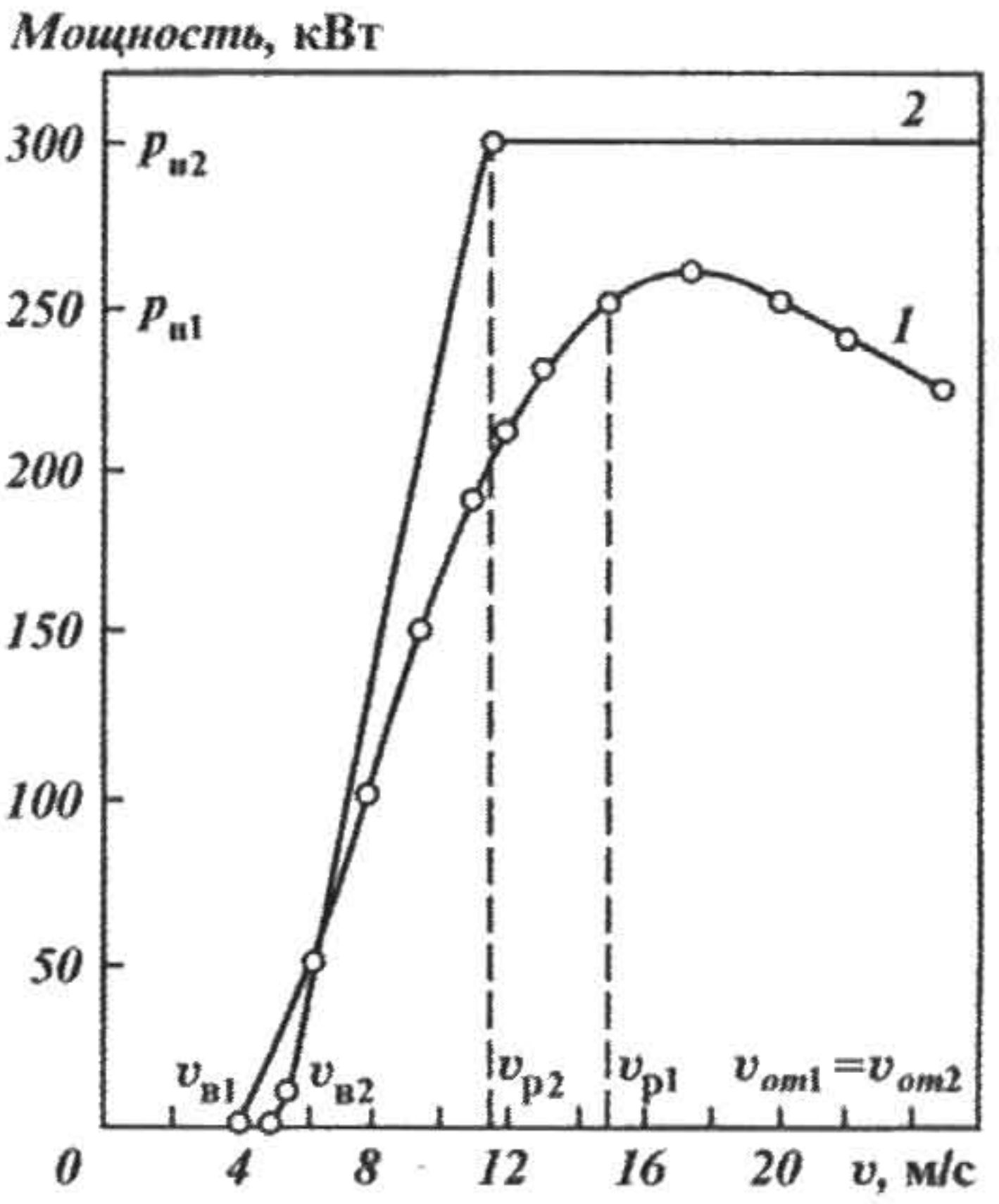


Рис. 13. Два типа зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра:
1 – ВЭУ фирмы "Wind World" мощностью 250 кВт. Мощность регулируется путем изменения профиля лопасти по длине так, что при скорости ветра, существенно превышающей расчетную, на некоторых участках возникает срыв потока (зарубежное название "стол регулейтид");
2 – ВЭУ фирмы MS-3 мощностью 300 кВт. Мощность регулируется изменением угла поворота лопасти по отношению к направлению ветра – "угла атаки" (зарубежное название – "пич регулейтид").
$v_{в1}$ и $v_{в2}$ – скорость ветра, при которой начинается вращение ротора (стартовая скорость); $v_{р1}$ и $v_{р2}$ – расчетная скорость ветра, при которой ВЭУ развивают номинальную мощность; $v_{ом1}$ и $v_{ом2}$ – скорость отключения, при превышении которой ВЭУ отключается от сети и останавливается. В данном случае они равны

Но когда скорость ветра достигает наибольшей рабочей скорости, а это обычно 22—25 м/с, ветроустановка также обязана остановиться. Вот и получается, что в местах, где часто дуют ураганные ветра и средняя скорость велика, годовая выработка электроэнергии может быть меньше, чем при такой же средней скорости, но без ураганных ветров. На рис. 13 показаны два типа зависимости мощностей ВЭУ от скорости ветра и даны соответствующие разъяснения.

7.4. К ЧЕМУ НУЖНО БЫТЬ ГОТОВЫМ ЗАКАЗЧИКУ?

Нужно готовить ответы, по крайней мере, на 30—35 вопросов по исходным данным, касающимся:

характеристик площадки ВЭС, дорог, способов доставки ВЭУ на монтажную площадку, собственности на землю, возможности выполнения погрузочно-разгрузочных работ;

характеристик электрической сети в точке подключения, возможных способов подключения и стоимости электрических аппаратов и оборудования;

наличия телефонной связи и возможности подключения к ней;

требований к строительным работам и возможности их выполнения силами местных организаций;

возможности обслуживания и эксплуатации;

источников финансирования строительства;

ветроэнергетических характеристик на месте установки ВЭУ;

стоимости топлива и энергии в данном регионе.

7.5. НА ЧЬЮ ПОМОЩЬ МОЖНО РАССЧИТЫВАТЬ?

Консультации по организационным и техническим вопросам:

Управление научно-технического прогресса Министерства топлива и энергетики Российской Федерации,
тел. 220-50-82, 220-67-80, 925-77-73, г. Москва.

Консультации по всем вопросам, включая коммерческие:

АО "Возобновляемые источники энергии" (АО ВИЭН),
тел. 174-81-13, г. Москва;

Федеральный центр малой и нетрадиционной энергетики, тел. 220-52-34, г. Москва;

Центр солнечной энергии – "Интерсоларцентр", тел. 171-96-70, г. Москва;

Кафедра "Нетрадиционные возобновляемые источники энергии" Московского энергетического института Технический университет), тел. 362-72-51, т/ф. 362-75-74, г. Москва;

Кафедра "Возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики" Санкт-Петербургского технического университета, тел. 552-77-71, г. Санкт-Петербург.