

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра энергетики

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь
в области сельского хозяйства в качестве пособия
для студентов высших учебных заведений
групп специальностей 74 06 Агроинженерия*

Под общей редакцией Коротинского В. А.

Минск
БГАТУ
2012

УДК 621.54(07)

ББК 31.62 27

В 39

Рецензенты:

кафедра «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» БНТУ;
заведующая кафедрой «Металлургические технологии» БНТУ,
доктор технических наук, профессор *И. А. Трусова*

Составители:

кандидат технических наук, доцент *В. А. Коротинский*,
кандидат технических наук, доцент *К. Э. Гаркуша*

Ветроэнергетика: новые перспективы : пособие / сост. :
В39 В. А. Коротинский, К. Э. Гаркуша. — Минск : БГАТУ, 2012. — 140 с.
ISBN 978-985-519-495-9.

В пособии по изучению дисциплины «Основы энергосбережения» содержатся основные сведения по использованию ветроэнергетических установок, включая перспективы их применения в Республике Беларусь в условиях рыночной экономики с учетом мирового опыта, а также представлены необходимые справочные данные.

Предназначено для студентов очной формы обучения и магистрантов агроинженерных специальностей.

УДК 621.54(07)

ББК 31.62 27

ISBN 978-985-519-495-9

© БГАТУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Раздел 1. Основные понятия и принципы классификации ветроэнергетических установок	7
Раздел 2. Преимущества и недостатки ветроэнергетики	16
Раздел 3. Устройство ветроэнергетических установок	19
Раздел 4. Развитие ветроэнергетических установок в мире	27
4.1. Ветроэнергетика в США	35
4.2. Ветроэнергетика в Японии и Тайване	44
4.3. Ветроэнергетика в Канаде	46
4.4. Ветроэнергетика в Индии	48
4.5. Ветроэнергетика в Китае	51
Раздел 5. Развитие ветроэнергетических установок в Европе	58
5.1. Ветроэнергетика в Дании	60
5.2. Ветроэнергетика в Испании, Франции и Нидерландах	65
5.3. Ветроэнергетика в Великобритании	68
5.4. Ветроэнергетика в Германии	73
5.5. Ветроэнергетика в Словакии, Чехии, Польше и Прибалтике	79
Раздел 6. Развитие ветроэнергетических установок в СНГ	82
6.1. Ветроэнергетика России	82
6.2. Ветроэнергетика в Украине	88
Раздел 7. Перспективы развития ветроэнергетики в Республике Беларусь ..	93
Раздел 8. Прогноз развития ветроэнергетики в мире	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
ЛИТЕРАТУРА	118
ПРИЛОЖЕНИЕ	121

ВВЕДЕНИЕ

Ветроэнергетика (wind power) — отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию.

Ветроэнергетика — технологии использования возобновляемых ветроресурсов, так называемой энергии ветра, с применением современных ветровых турбин (генераторов) для выработки электроэнергии, отдаваемой в электрическую сеть.

Первой лопастной машиной, преобразующей энергию ветра в движение, был парус. Ему уже почти 6000 лет (под парусом ходили еще древние



египтяне), но до сих пор это древнее изобретение обладает наивысшим коэффициентом полезного действия среди всех известных ветроагрегатов.

Позже появились ветряные мельницы, которые служили человечеству несколько столетий, вплоть до середины прошлого века. Они качали воду, поднимали камни, вращали мукомольные жернова. Пришедшие им на смену ветродвигатели выполняют не только

механическую работу, например, оснащенные электрогенератором ветроэнергетические станции (ВЭС) вырабатывают электрическую энергию.

Если вспомнить историю, то в Европу первые сведения о ветряных мельницах принесли крестоносцы. Во Франции ветряные колеса впервые появились в 1105 г., а в Англии — около 1143 г.

Сегодня в Европе существуют ветряные колеса, сооруженные в XV–XVI вв. В Чехословакии самая старая из известных ветряных мельниц была построена в Праге в 1277 г. В Моравии сооружение подобных мельниц вос-

ходит примерно к 1340 г. Так что вопреки установившемуся мнению ветряные мельницы отнюдь не являются изобретением голландцев; в Голландии они лишь достигли наибольшего технического совершенства.

Сто лет назад в Голландии работало свыше 10 тыс. ветряных мельниц. В 1923 г. их насчитывалось только 2500, а в наше время — едва тысяча.

Ветряные мельницы — экономически весьма выгодный источник энергии, поэтому их постоянно совершенствовали. В последние годы проводились испытания в аэродинамической трубе, чтобы найти наиболее выгодную конфигурацию и положение крыльев.

Современные ветряные колеса делаются цельнометаллическими; они имеют уже не крылья, а изогнутые лопасти, подобно водяной турбине. В оптимальное положение, т. е. своей плоскостью перпендикулярно к направлению ветра, они поворачиваются при помощи руля или дополнительного ветродвигателя.

Энергетический потенциал ветра на Земле оценивается величиной $6,12 \cdot 10^{15}$ МДж/г.

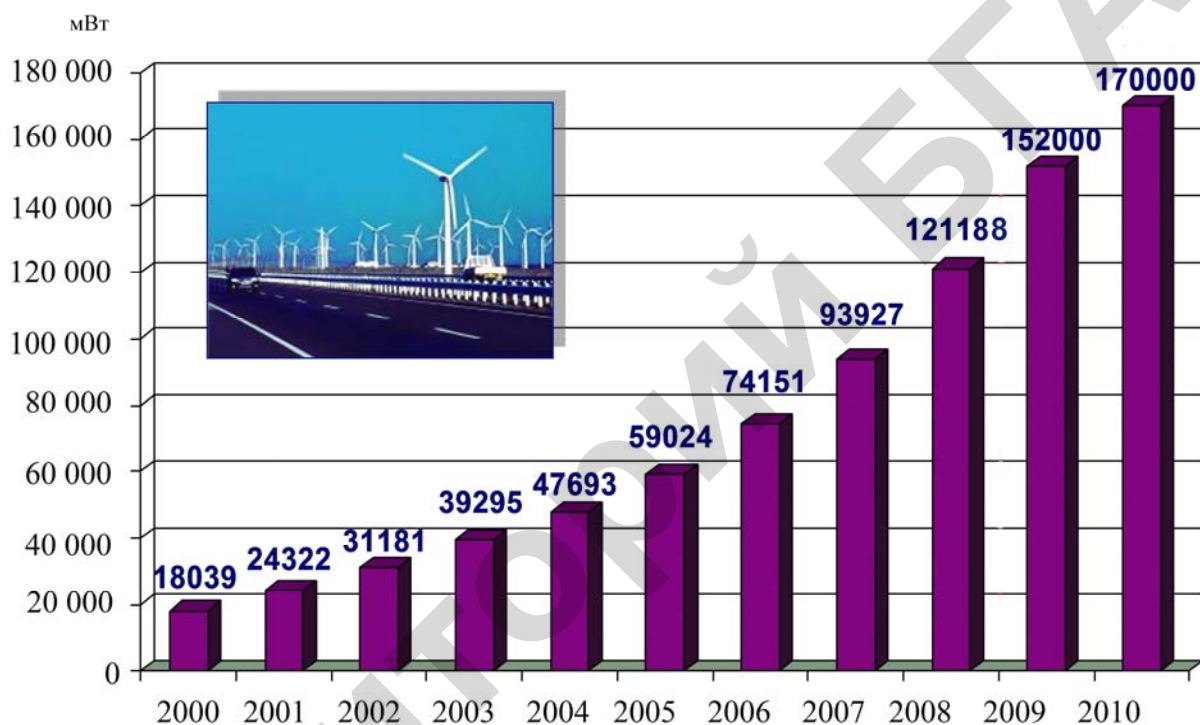
Ведущие европейские компании выпускают серийно ветродвигатели мощностью от 600 до 2500 и 5000 кВт, предназначенные для работы на энергосеть. Только датская фирма «Vestas Danich Wind Technology» с начала 1980-х годов установила порядка 11 тыс. ВЭС по всему миру. Несколько лет назад появились ветроэнергетические установки (ВЭУ) мощностью 1 и 1,5 МВт с размахом лопастей 80 м и более. По прогнозам фирмы «Боинг», в наступившем десятилетии будут созданы ВЭУ мощностью 7 МВт.

Современные турбины — это сложные структуры, которые выдерживают суровые условия штормов и ветров. Ротор рассчитан для работы на постоянной скорости (обычно до 34 об/мин), а угол лопастей автоматически регулируется для достижения этой скорости. Верхняя часть турбины («гондола») также поворачивается горизонтальным мотором так, чтобы она постоянно была обращена к ветру.

ВЭС применяются в странах, имеющих подходящие скорости ветра, невысокий рельеф местности и испытывающих дефицит природных ресурсов. Мировым лидером в использовании ветряных электростанций до 2009 г. являлась Германия, в которой за небольшой промежуток времени построено около 24 тыс. МВт мощности ВЭС. В Германии продолжается интенсивное строительство ветряных электростанций. Производство ветряных электростанций стало значительной частью экспорта Дании и Германии.

По оценке Международной Ассоциации Ветряной Энергетики (World Wind Energy Association — WWEA), рынок энергии ветра в 2009 г. охарактеризовался стремительным ростом. Только за первый квартал 2009 г. было установлено рекордное число ветрогенераторов, совокупной мощностью 5 374 МВт. Прирост производства по сравнению с аналогичным периодом 2008 года составил 23 %. По итогам 2009 г. произошло увеличение производственных мощностей до 159,2 тыс. МВт при плане 152 тыс. МВт [6].

Объем мощностей по производству ветряной энергии в 2000–2010 гг.
(источник: World Wind Energy Association)



Производство ветряных электростанций обеспечило работой в Европе 60 тыс. человек. За рубежом приняты постановления на государственном уровне, содействующие внедрению возобновляемых источников энергии.

К 2020 г. в мире планируют довести мощность ВЭУ до 450 тыс. МВт, а в Дании за счет нетрадиционных возобновляемых источников, в том числе ветроэнергетики, намереваются получить до 20 % энергии.

Раздел 1.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Среднегодовая скорость ветра (average annual wind speed) — средняя скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности.

Распределение скоростей ветра (wind distribution) — функция статистической закономерности частот вариаций скоростей ветра за определенный период времени, аппроксимирующая статистические данные наблюдений.

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.

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.

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.).

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. Иногда ветряные электростанции называют ветряными фермами (от англ. Wind farm).

Различают следующие типы ВЭС: наземная (равнинная рис. 1.1, высокогорная рис. 1.2), прибрежная (рис. 1.3), шельфовая или оффшорная (рис. 1.4), плавающая (рис. 1.5).

Крупнейшей на данный момент наземной ВЭС является электростанция в городе Roscoe, штат Техас, США. Она была запущена 1 октября 2009 г. немецким энергоконцерном «E.ON». Станция состоит из 627 ветряных турбин производства Mitsubishi, General Electric и Siemens. Полная мощность — около 780 МВт. Площадь электростанции не менее 400 км² [5].



Рис. 1.1. Наземная ВЭС возле Айнажи, Латвия



Рис. 1.2. Наземная ВЭС на вершинах холмов в Китае



Рис. 1.3. Строительство прибрежной электростанции в Германии



Рис. 1.4. Оффшорная ВЭС около Копенгагена, Дания

Прибрежные ветряные электростанции строят на небольшом удалении от берега моря или океана. На побережье с суточной периодичностью дует бриз, что вызвано неравномерным нагреванием поверхности суши и водоема. Дневной, или морской бриз, движется с водной поверхности на сушу, а ночной, или береговой — с остывшего побережья к водоему.

Шельфовые ветряные электростанции строят в море: 10–12 км от берега. Шельфовые ветряные электростанции обладают рядом преимуществ: их практически не видно с берега; они не занимают землю; они имеют большую эффективность из-за регулярных морских ветров. Шельфовые электростанции

строят на участках моря с небольшой глубиной. Башни ветрогенераторов устанавливаются на фундаменты из свай, забитых на глубину до 30 м. Электроэнергия передается на землю по подводным кабелям.

В конце 2008 г. во всем мире суммарные мощности шельфовых электростанций составили 1 471 МВт. За 2008 г. во всем мире было построено 357 МВт шельфовых мощностей. Крупнейшей шельфовой станцией является электростанция Миддельгрюнден (Дания) с установленной мощностью 40 МВт [6].



Рис. 1.5. Строительство первой плавающей электростанции.
Норвегия (май 2009 г.)

Первый прототип плавающей ветряной турбины построен компанией «H Technologies BV» в декабре 2007 г. Ветрогенератор мощностью 80 кВт установлен на плавающей платформе в 10,6 морских милях от берега Южной Италии на участке моря глубиной 108 м.

Норвежская компания «StatoilHydro» разработала плавающие ветрогенераторы для морских станций большой глубины и построила демонстрационную версию мощностью 2,3 МВт в сентябре 2009 г. [2]. Турбина под названием «Hywind» весит 5 300 т при высоте 65 м. Располагается она в 10 км от острова Кармой, неподалеку от юго-западного берега Норвегии. Стальная башня этого ветрогенератора уходит под воду на глубину 100 м. Над водой башня возвышается на 65 м. Диаметр ротора составляет 82,4 м. Для стабилизации башни

ветрогенератора и погружения его на заданную глубину в нижней его части размещен балласт (гравий и камни). При этом от дрейфа башню удерживают три троса с якорями, закрепленными на дне. Электроэнергия передается на берег по подводному кабелю. Компания планирует в будущем довести мощность турбины до 5 МВт, а диаметр ротора — до 120 м.

Ветроагрегат (ВА, wind unit) — система, состоящая из ветродвигателя, системы передачи мощности и приводимой ими в движение машины (электромашинного генератора, насоса, компрессора и т. п.). Основные характеристики ветроагрегатов:

- производительность ВА (capacity) — зависимость объема продукции, производимого ВА за единицу времени средней скорости ветра;
- установленная мощность ВА (maximum electrical output) — паспортная мощность машины на выходном валу ВА;
- номинальная мощность ВА (rated electrical output) — максимальное значение выходной мощности, на которую рассчитан в длительном режиме работы;
- общий коэффициент полезного действия ВА (efficiency total) — отношение производимой ВА полезной энергии к полной энергии ветра, проходящей через ометаемую площадь ветроколеса;
- 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).

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.

Ветропарк — это комплекс ВЭУ, часто установленных рядами, которые перпендикулярны господствующему направлению ветра. При разработке такого проекта нужно учитывать наличие дорог для доступа к агрегатам, подстанции, мониторинговой и контрольной системам.

Крыльчатые ВЭУ — их еще называют ветродвигателями традиционной схемы — представляют собой лопастные механизмы с горизонтальной осью вращения. Ветроагрегат вращается с максимальной скоростью, когда лопасти расположены перпендикулярно потоку воздуха. Поэтому в конструкции предусмотрены устройства автоматического поворота оси вращения: на малых ВЭС — крыло-стабилизатор, а на мощных станциях, рабо-

тающих на сеть, — электронная система управления слежением. Небольшие крыльчатые ВЭС постоянного тока соединяют с электрогенератором напрямую, мощные станции оснащают редуктором. Типы крыльчатых ветродвигателей отличаются только количеством лопастей. Скорость вращения крыльчатых ветродвигателей обратно пропорциональна количеству крыльев, поэтому агрегаты с количеством лопастей больше трех практически не используются. Мощность ВЭС зависит от скорости ветра и размаха лопастей ветроколеса. Коэффициент использования энергии ветра у крыльчатых ВЭС намного выше, чем у других ветряков, недаром они занимают более 90 % рынка.

Карусельные (роторные) ВЭС с вертикальной осью вращения, в отличие от крыльчатых, могут работать при любом направлении ветра, не изменяя своего положения. Когда ветровой поток усиливается, карусельные ВЭС быстро наращивают силу тяги, после чего скорость вращения ветроколеса стабилизируется.

Ветродвигатели этой группы тихходны, поэтому не создают большого шума. В них используются многополюсные электрогенераторы, работающие на малых оборотах, что позволяет применять простые электрические схемы без риска потерпеть аварию при случайном порыве ветра. Тихходность выдвигает одно ограничивающее требование: использовать многополюсный работающий генератор на малых оборотах. Такие генераторы не имеют широкого распространения, а использование системы «мультипликатор–повышающий редуктор» не эффективно из-за низкого КПД последнего. Конструкция лопастных ВЭУ роторной схемы обеспечивает максимальную скорость вращения при запуске и ее автоматическое саморегулирование в процессе работы. С увеличением нагрузки скорость вращения ветроколеса уменьшается, а вращающий момент возрастает.

Системы ветродизель. В крупных энергосетях неравномерная подача энергии, присущая всем ветроагрегатам, уравнивается их большим количеством. Автономные сети мощностью 0,5–4 МВт тоже могут функционировать надежно, несмотря на неравномерность поступления энергии от ВЭС, если они работают в паре с дизелем. Для систем «ветродизель» европейские компании разработали компьютеризированное устройство, распределяющее нагрузку между ветроэнергетической установкой и дизелем. Уже есть оборудование, позволяющее всего за две секунды отключить дизель или вновь включить его в работу. Благодаря этому увеличивается ресурс дизелей и экономится до 67 % топлива в год.

Кинетическая энергия W_K (Дж) воздушного потока со средней скоростью \mathcal{G} (м/с), проходящего через поперечное сечение A (м²), перпендикулярное воздушному потоку, и массой воздуха m (кг) рассчитывается по формуле:

$$W_K = 0,5m\mathcal{G}^2. \quad (1.1)$$

Величина m определяется по формуле:

$$m = \rho \mathcal{G} A, \quad (1.2)$$

где ρ — плотность воздуха, кг/м³

Если в качестве m взять секундную массу воздуха (кг/с), то получим значение мощности, развиваемой потоком воздуха (Дж/с = Вт), т. е.:

$$N = 0,5\rho \mathcal{G}^3 A. \quad (1.3)$$

Для $A = 1$ м² получаем значение удельной мощности (Вт) ветрового потока $N_{уд}$ (Вт/м²):

$$N_{уд} = 0,5\rho \mathcal{G}^3. \quad (1.4)$$

Мощности ВЭУ (кВт):

$$N_{ВЭУ} = N\eta_1\eta_2K_i10^{-3}, \quad (1.5)$$

где η_1 — КПД ротора (обычно принимается равным 0,9);

η_2 — КПД генератора (обычно принимается равным 0,95);

K_i — коэффициент использования номинальной мощности (принимается равным 0,305–0,457).

Обычно в ветроэнергетике используется рабочий диапазон скоростей ветра, не превышающих 25 м/с. Ниже приведены значения $N_{уд}$ для указанного рабочего диапазона скоростей ветра (табл. 1.1)

Таблица 1.1

Зависимость удельной мощности ветрового потока от средней скорости ветра

\mathcal{G} , м/с	2	3	4	5	10	14	18	20	23	25
$N_{уд}$, Вт/м ²	4,9	16,55	39,2	76,6	613	1682	3575	4904	7458	9578

Чем выше расчетная скорость ветра, тем выше эффективность ВЭУ. Обычно в качестве нее применяется среднегодовая скорость ветра, которая относительно мало меняется по годам. В то же время скорость ветра в течение года может существенно меняться во времени (как в течение суток, так и года в целом). Процесс изменения скорости ветра в течение года имеет свои закономерные зависимости (зимой скорость ветра выше, чем летом; в полдень выше, чем утром), а также существенную случайную составляющую. Для описания процесса изменения скорости ветра во времени требуются ежедневные наблюдения за скоростью ветра в данной точке не менее 10–12 лет.

В ветроэнергетических расчетах учитывается также и «роза ветров», то есть характерные направления скоростей ветра в данной точке в течение года. Особое значение «роза ветров» приобретает в случае строительства ВЭС, состоящих из нескольких ВЭУ (десятков–сотен) в данной местности.

ВЭУ классифицируют по следующим признакам:

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

ВЭУ в зависимости от вида вырабатываемой энергии подразделяют на две группы:

- механические;
- электрические (постоянного и переменного тока).

В зависимости от мощности подразделяют на четыре группы:

- большой мощности (свыше 1 МВт);
- средней мощности (от 0,1 до 1 МВт);
- малой мощности (от 5 до 99 кВт);
- очень малой мощности (менее 5 кВт).

Классификация электрических ВЭУ переменного тока по назначению приведена в табл. 1.2.

Мировой практикой определен типоряд ВЭУ континентального базирования (от 1 кВт до 1,5 МВт):

- В6 — расчетная скорость ветра от 6 до 8 м/с;
- В8 — расчетная скорость ветра от 8 до 10 м/с;

V10 — расчетная скорость ветра от 10 до 12 м/с;

V12 — расчетная скорость ветра от 12 до 15 м/с.

Типоряд ВЭУ прибрежного и морского базирования (от 1 кВт до 1,5 МВт) представлен:

V15 — расчетная скорость ветра от 15 м/с.

Требования к ВЭУ по условиям размещения состоят в том, что это должны быть места, находящиеся на холмистой местности и в прибрежной зоне (с постоянной скоростью ветра круглый год от 3 до 25 м/с¹). Места расположения ВЭУ должны быть достаточно близки от существующих систем распределения электроэнергии и центров спроса.

Таблица 1.2

Классификация ВЭУ по назначению [1]

Наименование	Мощность, кВт	Назначение
<i>Системные (сетевые):</i> работа параллельно с мощной электрической сетью	200–5000	Источники получения и выдачи в электрическую сеть максимально возможной выработанной электроэнергии
<i>Автономные:</i> работа индивидуально (автономно)	50–500	Источники электропитания потребителей, не связанные электрической сетью
<i>Гибридные:</i> работа параллельно с независимыми электростанциями соизмеримой мощности (дизельные генераторы, малые ГЭС)	от 50	Источники электропитания для бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией номинальной мощностью

¹ Скорость ветра 25 м/с соответствует 9-балльному ветру (шторм) по 12-балльной шкале Бофорта.

Раздел 2.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

К *преимуществам* ветроэнергетики по сравнению с традиционными способами и методами получения электрической энергии можно отнести:

– низкую себестоимость производства электроэнергии: может конкурировать с ядерной, угольной и газовой энергетикой (при увеличении скорости ветра с 7 до 9 м/с или удвоения установленной мощности ВЭУ себестоимость электроэнергии падает в 2 раза [6]);

– нулевую стоимость топливной составляющей (источник энергии неисчерпаем и присутствует в неограниченных количествах);

– независимость от поставщиков энергоресурсов;

– независимость от цен на топливо;

– экологическую чистоту: нет выбросов двуокиси углерода (по оценкам Global Wind Energy Council [7] к 2050 г. мировая ветроэнергетика позволит сократить ежегодные выбросы CO₂ на 1,5 млрд т);

– модульный дизайн;

– унификацию оборудования в мире;

– быстрый блочный монтаж;

– оптимизацию выработки электроэнергии при переменной составляющей ветровой нагрузки и силе ветра (полная автоматизация и компьютеризация управления — отсутствие «человеческого фактора»);

– ветроэнергетика не мешает ведению сельского хозяйства и промышленной деятельности вблизи ветростанций (турбины занимают только 1 % от всей территории ВЭС; на 99 % площади ВЭС возможно заниматься сельским хозяйством или другой деятельностью);

– фундамент ВЭУ, занимающий место около 10 м в диаметре, обычно полностью находится под землей, позволяя расширить сельскохозяйственное использование земли практически до самого основания башни;

– в отличие от традиционных тепловых электростанций, ВЭС не используют воду, что позволяет существенно снизить нагрузку на водные ресурсы;

– электроснабжение, по объемам сравнимое с традиционными способами генерации электроэнергии.

Недостатки использования ВЭУ:

– проблемой является шум² (ВЭУ производят две разновидности шума: механический шум (шум от работы механических и электрических компонентов) и аэродинамический шум (шум от взаимодействия ветрового потока с лопастями установки));

– минимальное расстояние от ВЭУ до жилых домов — 300 м;

– имеют визуальное (зрительное) воздействие, что является субъективным фактором (размещение ВЭУ в местах с хорошей видимостью привело к возникновению в обществе озабоченности разрушением традиционных видов природы);

– могут нанести вред животным и птицам: наиболее страдают (погибают) летучие мыши. (Возле концов лопастей ВЭУ образуется область пониженного давления, и млекопитающее, попавшее в нее, получает баротравму³; птицы имеют иное строение легких, а потому более резистентны к резким перепадам давления и страдают только от непосредственного столкновения с лопастями ветряков);

– современные ветряные электростанции прекращают работу во время сезонного перелета птиц, поэтому падает выработка электрической энергии в сети;

– металлические части и сооружения ВЭУ, особенно элементы в лопастях, могут вызвать значительные помехи в приеме радиосигнала (чем крупнее ВЭУ, тем большие помехи она может создавать; в ряде случаев для решения проблемы приходится устанавливать дополнительные ретрансляторы);

– требуется применение инвертора (около 50 % стоимости ВЭУ) для получения электроэнергии промышленного качества, что приводит к увеличению стоимости электроэнергии;

– при необходимости автономной работы в течение некоторого времени требуется применение достаточно дорогих аккумуляторов (около 25 % стоимости ВЭУ);

² Максимальный уровень шума согласно законодательству некоторых стран ЕС составляет 35 (ночью) и 45 дБ (днем); к примеру, шумовой фон в современном офисе с компьютерной техникой — 60 дБ.

³ Более 90 % летучих мышей, найденных рядом с ветряками, обнаруживают признаки внутреннего кровоизлияния.

– при необходимости длительной бесперебойной работы потребителей требуется применение дизель-генератора (дополнительные капитальные затраты составляют до 100 % стоимости ВЭУ);

– могут возникнуть проблемы в сетях и диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ВЭУ после достижения ими доли в 20–25 % от общей установленной мощности системы;

– небольшие единичные ВЭУ могут иметь проблемы с сетевой инфраструктурой, поскольку стоимость линии электропередач и распределительного устройства для подключения к энергосистеме могут оказаться слишком большими;

– крупные ВЭУ, как правило, имеют значительные проблемы с ремонтом, поскольку замена крупной детали (лопасти, ротора и т. п.) на высоте более 100 м является сложным и дорогостоящим мероприятием.

Раздел 3.

УСТРОЙСТВО ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В настоящее время в мире наибольшее распространение получили трехлопастные ВЭУ с горизонтальной осью вращения (рис. 3.1, 3.2), в состав которых входят следующие основные компоненты: рабочее колесо, гондола с редуктором и генератором, башня и фундамент (также см. прилож. 2).

На башне — чаще трубообразной, реже решетчатой (установки малой мощности), в гондоле размещается основное энергетическое, механическое и вспомогательное оборудование ВЭУ (рис. 3.3–3.5), в том числе рабочее колесо или ротор с лопастями, преобразующий энергию ветра в энергию вращения вала, редуктор для повышения частоты вращения вала ротора и генератор.

Скорость ветра возрастает с высотой. Поэтому ВЭУ строят на вершинах холмов или возвышенностей, а генераторы устанавливают на башнях высотой не менее 30–60 м. Принимаются во внимание предметы, способные влиять на ветер: деревья, крупные здания.

Лопастей ротора могут быть жестко закреплены на его втулке или изменять свое положение в зависимости от скорости ветра для повышения полезной мощности ВЭУ. В качестве генератора могут использоваться: синхронные и, чаще всего, асинхронные генераторы.

9 сентября 2009 г. в Норвегии построили первую в мире плавучую прибрежную полнофункциональную ветровую турбину «Hywind».

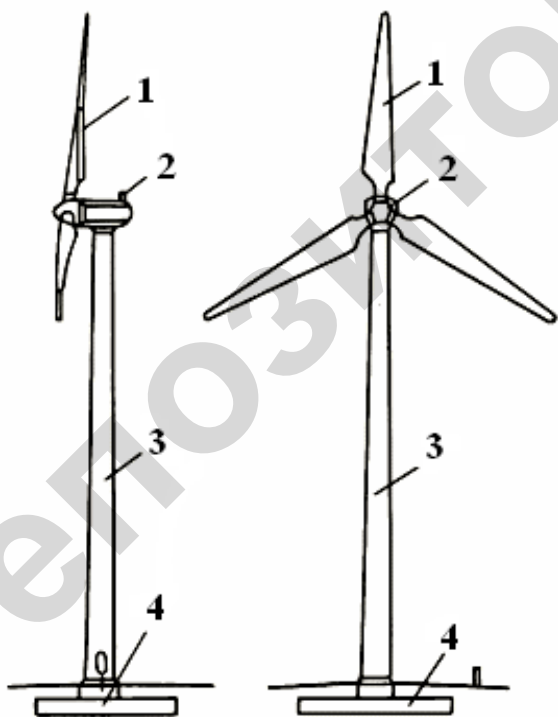


Рис. 3.1. ВЭУ с горизонтальной осью вращения: 1 — рабочее колесо; 2 — гондола с редуктором и генератором; 3 — башня; 4 — фундамент



Рис. 3.2. Различные виды устройства ВЭУ

Турбина «Hywind» (мощность 2,3 МВт) располагается в 10 км от острова Кармой, что неподалеку от юго-западного побережья страны. Турбина установлена на плавучей платформе, прикрепленной к морскому дну с помощью трех кабелей. В качестве балласта в платформе использованы вода и камни. Испытания турбины «Hywind» ведутся уже в течение двух лет, после трехлетних испытаний ее производитель — компания «StatoilHydro» — приступит к установке подобных турбин в других странах. Потенциальными рынками, которые могут заинтересоваться новой технологией, названы Япония, Южная Корея, Калифорния, весь восточный берег Соединенных Штатов и Испания.

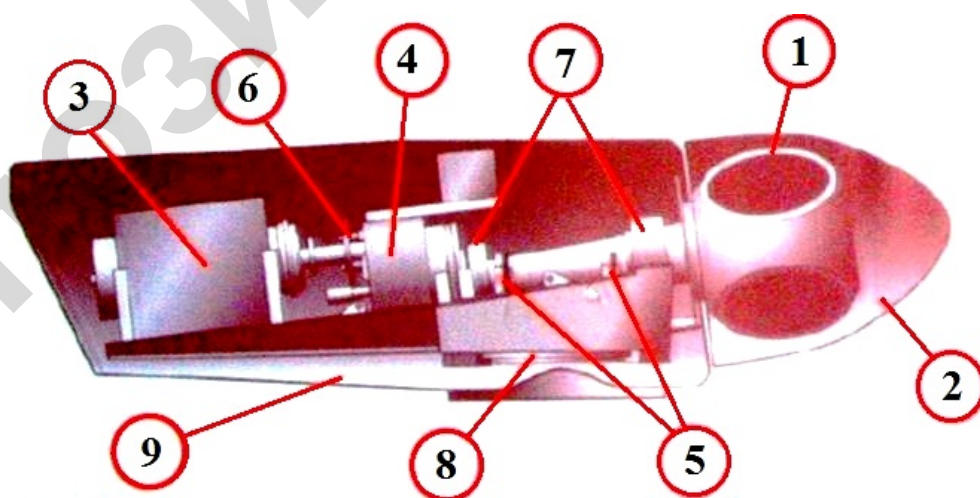


Рис. 3.3. Схема основных элементов (узлов) типовой ВЭУ:

- 1 — втулка ветроколеса; 2 — обтекатель; 3 — генератор;
 4 — мультипликатор; 5 — следящая система; 6 — дисковый тормоз;
 7 — основной вал; 8 — подшипник азимута; 9 — рама гондолы

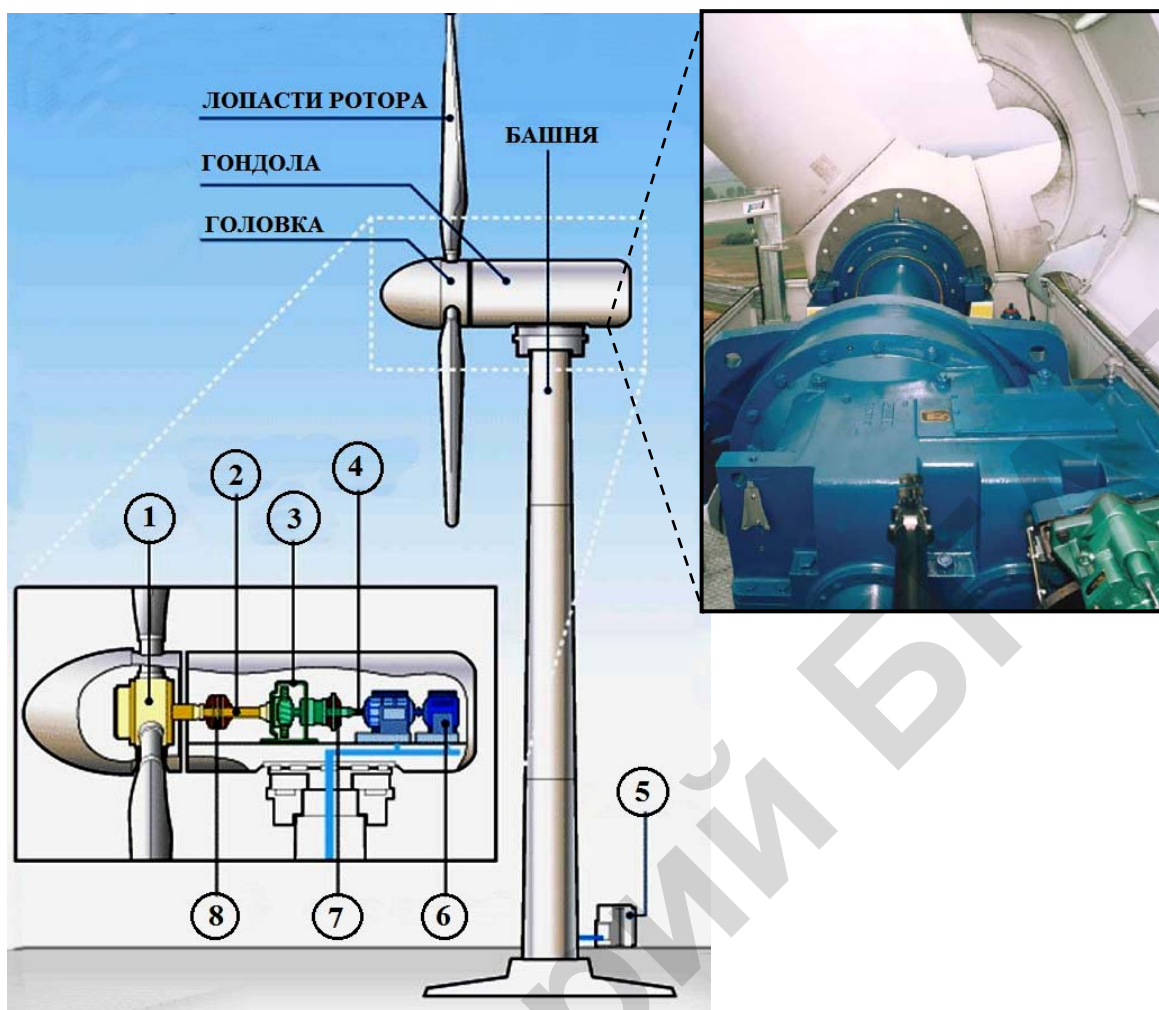


Рис. 3.4. Основные элементы ВЭУ с горизонтальной турбиной:
 1 — ротор головки; 2 — низкоскоростной вал; 3 — мультипликатор;
 4 — высокоскоростной вал; 5 — трансформатор напряжения;
 6 — электрогенератор; 7, 8 — тормозная система

Турбина «Nuwind» отличается от действующих сегодня оффшорных турбин тем, что ее можно располагать вдалеке от берега, где глубина составляет от 120 до 700 м. То есть эту конструкцию можно с успехом использовать в тех странах, чьи прибрежные воды очень глубоки, или там, где нет места для наземных сооружений.

ВЭУ на современном этапе работают, как правило, в составе ВЭС. Для управления ими существуют достаточно сложные принципиальные схемы (рис. 3.5, 3.8), которые выполняют задачи по оптимизации работы установок и увеличению их эффективности. Это становится возможным благодаря использованию в составе ВЭУ современного навигационного и метеорологического электронного оборудования. Все оборудование управляется компьютерной системой, практически без воздействия человека (отсутствие «человеческого фактора»). Разработанное программное обеспечение гарантирует получение максимально возможной информации по эксплуатации каждой ВЭУ в отдельности и группы ВЭУ в системе ВЭС (рис. 3.6, 3.7). Система

управления ВЭУ, кроме всего прочего, имеет возможность сохранять в архив все режимные характеристики установки в реальном времени и предотвращать аварийные ситуации с сообщением данных на центральный пульт управляющей (энергетической) компании (также см. прилож. 3).

Например:

– флюгирование (остановка) лопастей ротора при скорости ветра ниже нормируемой (обычно не менее 2 м/с), чтобы не расходовался впустую ресурс механических элементов установки;

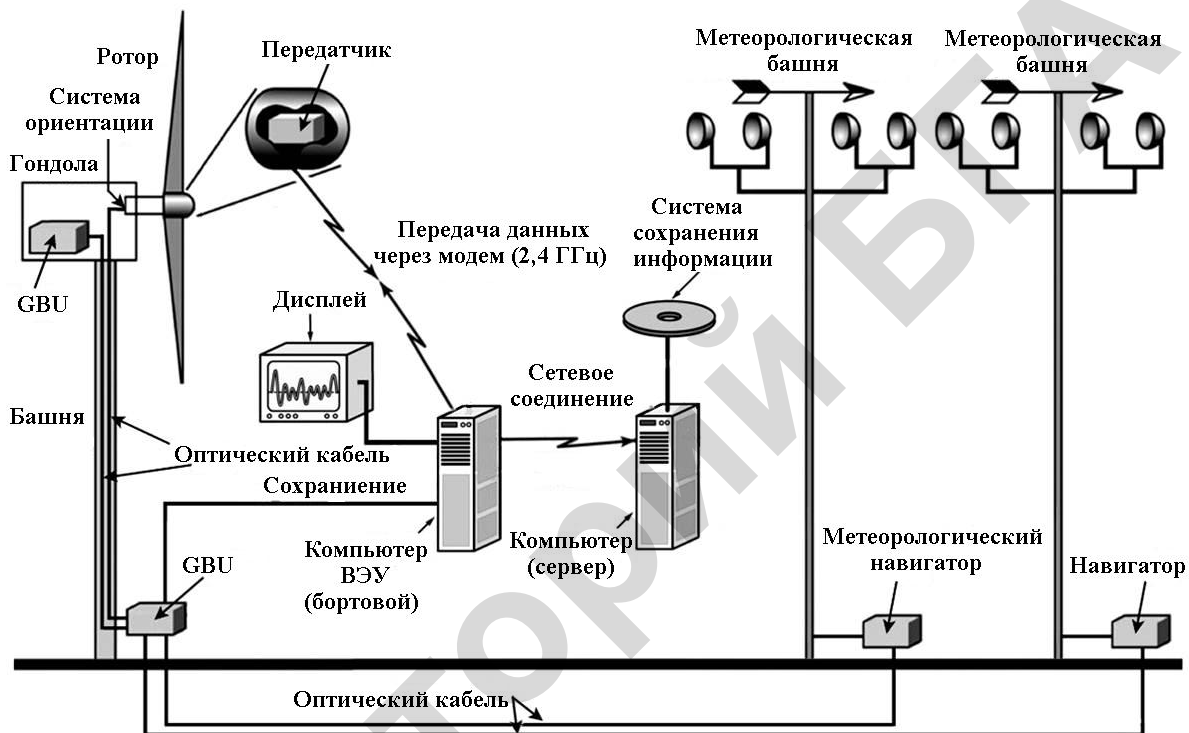


Рис. 3.5. Принципиальная схема управления ВЭУ

– флюгирование лопастей ротора при максимальной скорости ветра (обычно 25 м/с) для защиты от механических повреждений (разрушения) установки;

– аварийная остановка ВЭУ при других неисправностях в ее схеме.

Создание надежной сети управления с системой SCADA (система диспетчерского контроля и сбора данных) значительно упрощает задачу управления и контроля ветровых турбин.

Поэтому, можно сказать, одной из наиболее важных частей в устройстве ВЭУ является компьютерная система автоматического управления.

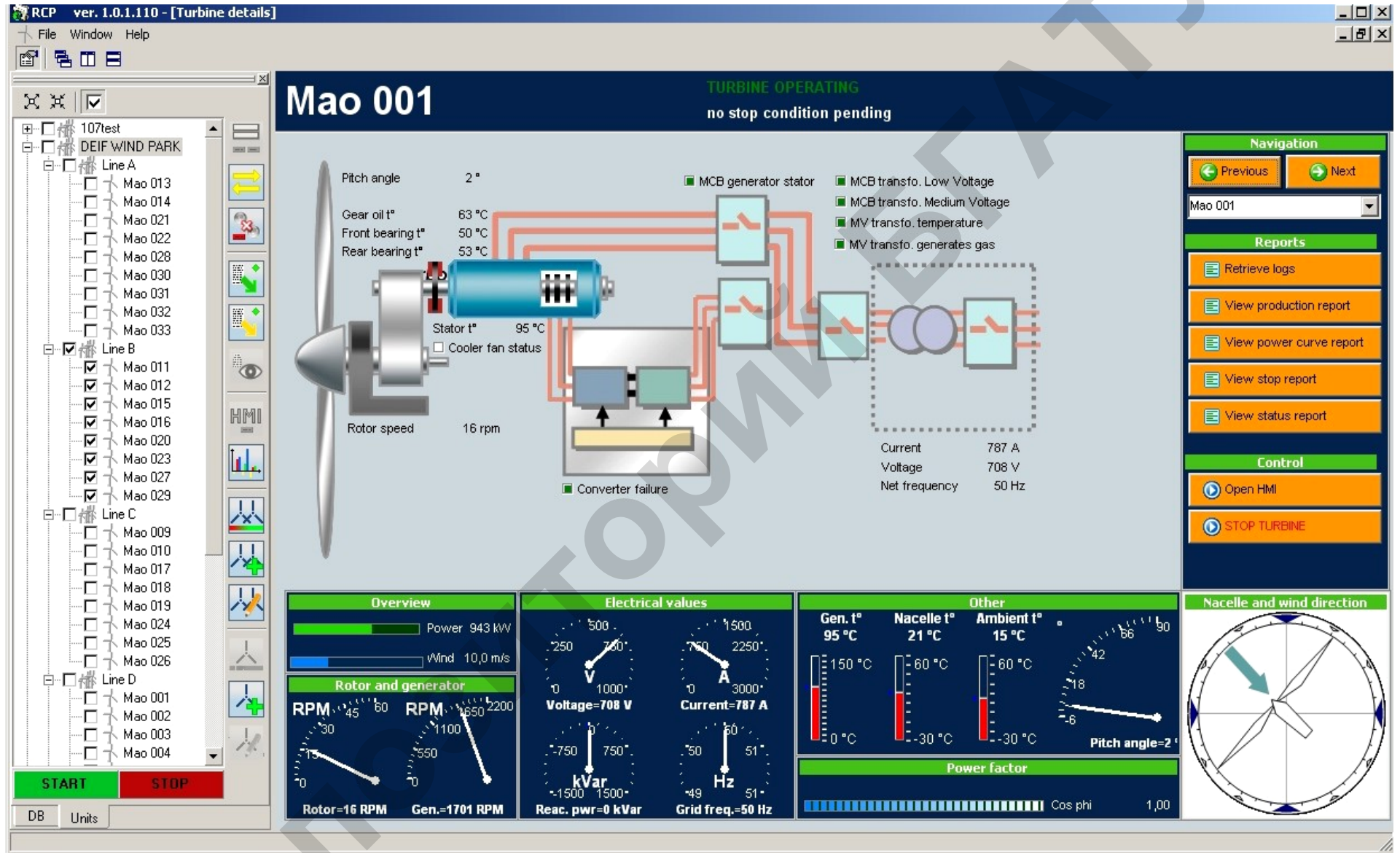


Рис. 3. 6. Детализировка турбины на компьютерной программе управления ВЭУ с указанием рабочих параметров

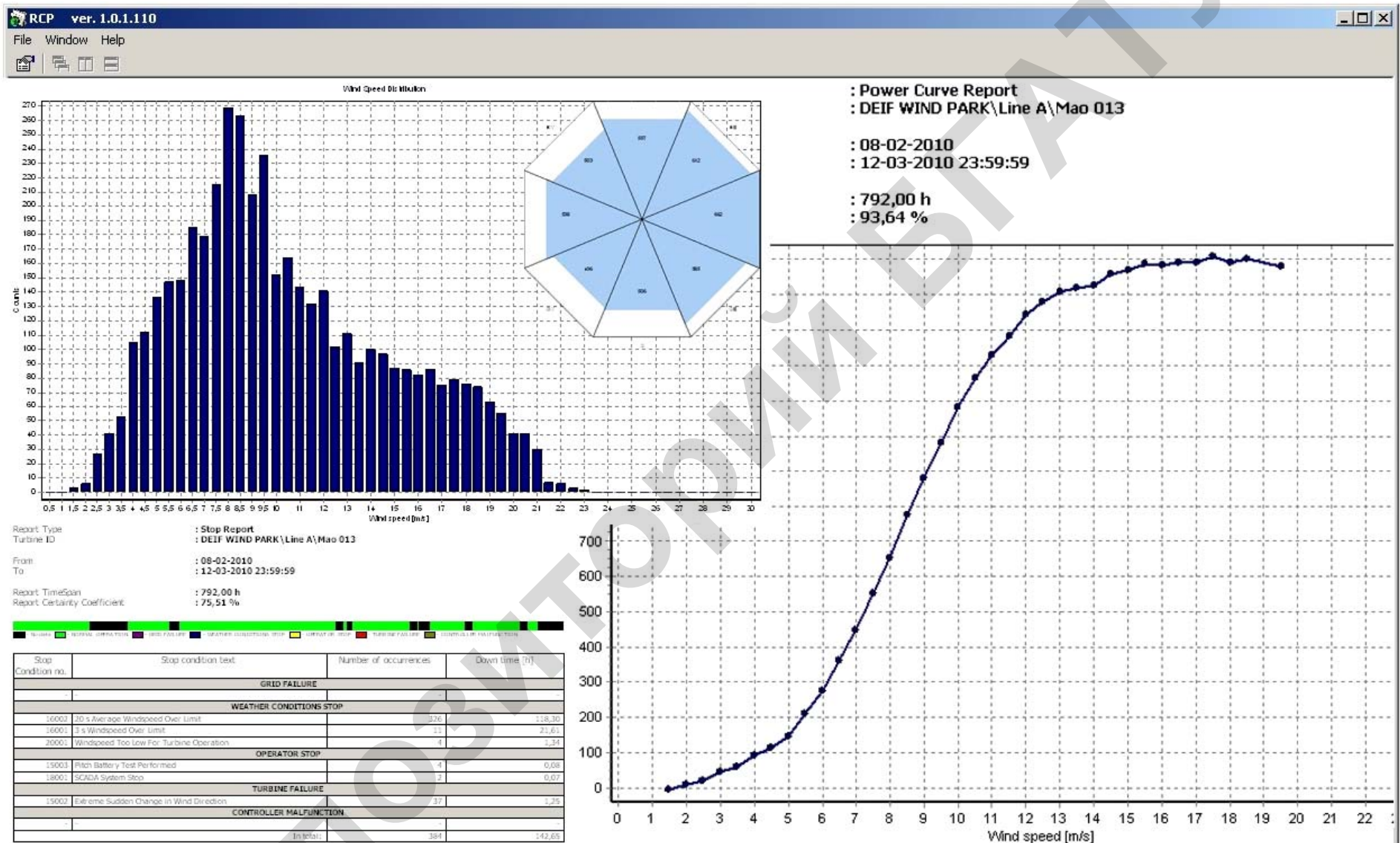


Рис. 3. 7. Наблюдение за рабочими параметрами на компьютерной программе управления ВЭУ

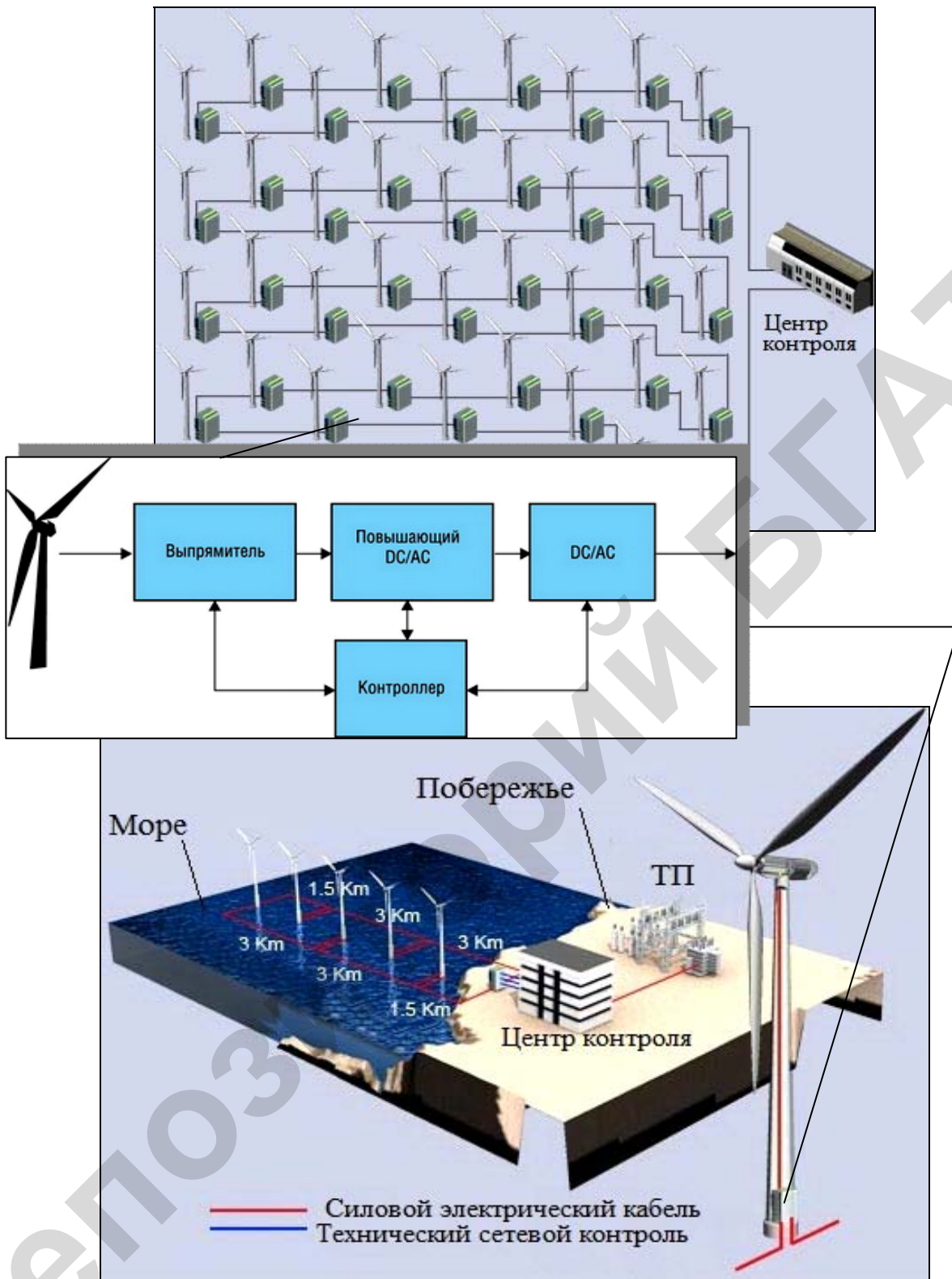


Рис. 3.8. Управление и контроль ВЭУ на суше и в море (оффшор)

Современные турбины и оборудование ВЭУ рассчитаны на ресурс 120 тыс. ч в течение 20 лет.

При малых электрических мощностях электрогенераторов для местных целей (фермерское хозяйство, агрогородок и т. п.) могут использоваться роторные (рис. 3.9) и вихревые установки.

В роторных ВЭУ в качестве лопастей применяют различные криволинейные поверхности. Одна из таких конструкций — ротор Савониуса. Лопасти этой установки выполнены в виде полуцилиндров, однако они расположены несколько иначе, чем у карусельных ветряков. Воздушный поток в роторной ВЭУ используется более рационально, поэтому коэффициент использования энергии ветра у такого ветроколеса в 1,5 раза больше чем у карусельного.

Вихревая ветроэнергетическая установка выполнена в виде пирамиды, в стенках которой расположены направляющие конфузурные каналы, которые образуют зону формирования вихревого потока. Конфузурные каналы имеют спиралевидную конструкцию, с целью закручивания потока. Набегающий поток ветра проникает в центральный канал через каналы расположенные с ветреной стороны, а в остальных каналах наблюдается эффект подсосывания воздуха, что способствует усилению вихревого потока в центральной части. Ветроколесо с вертикальной осью вращения расположено в верхней части конструкции.



Рис. 3.9. Роторные ВЭУ

Раздел 4. РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В МИРЕ

2010 г. принес новые рекорды мировой ветроэнергетики: несмотря на глобальный экономический кризис, инвестиции в новые ветротурбины значительно превысили инвестиции всех предыдущих лет (рис. 4.1–4.6) [6].

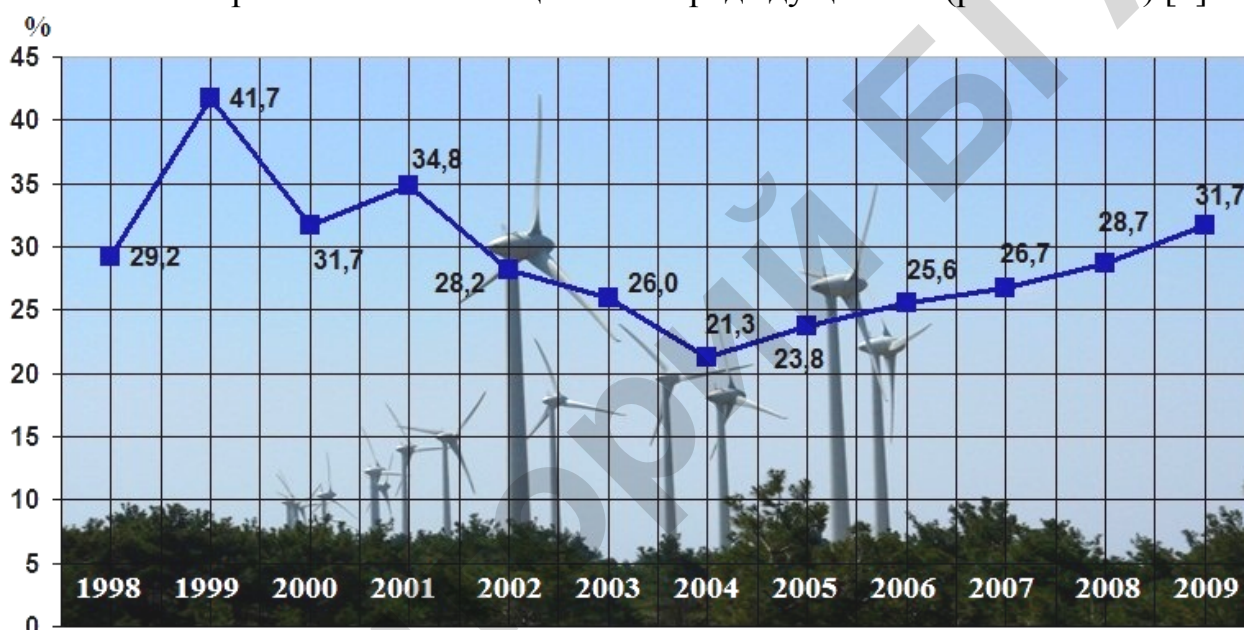


Рис. 4.1. Среднегодовой прирост использования ВЭУ в мире

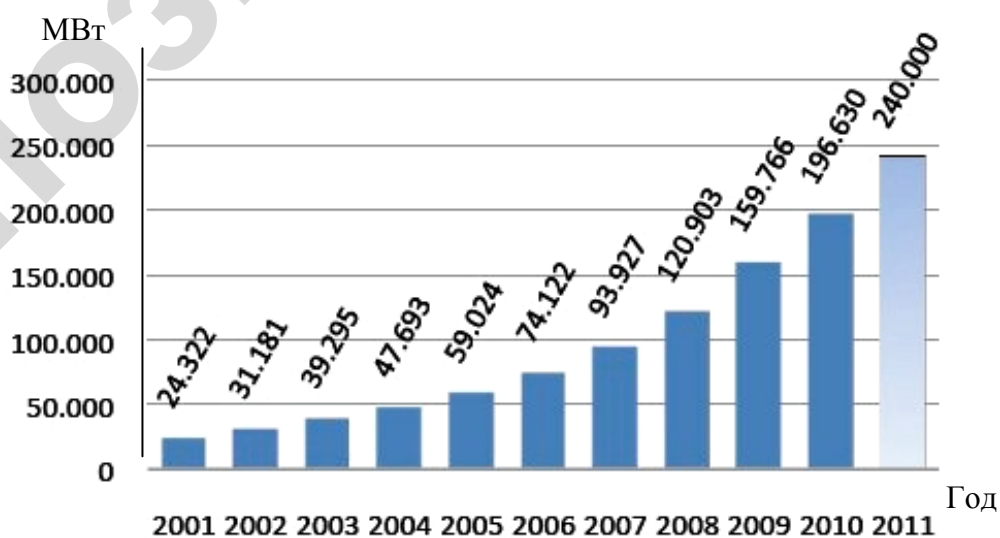


Рис. 4.2. Суммарная установленная мощность ВЭУ в мире

В соответствии с прогнозами, сделанными в отчете «World Wind Energy Report 2009», ветроэнергетика — это инвестиции с низкой степенью риска и не только непосредственно для инвесторов.

Максимальная мощность ВЭУ, приходящаяся на 1 км² площади страны в мире имеет Дания. Этот показатель для нее составляет 86,6 МВт/км²; ближайшая за ней страна — Германия имеет показатель равный 76,2 МВт/км². Замыкают двадцатку стран-лидеров в ветроэнергетике по этому показателю — США и Индия, имеющие соответственно 4,1 и 4 МВт/км².

В 2010 г. установленная мощность ВЭУ в мире достигла величины 196 630 МВт (рис. 4.2). Наибольший вклад внес Китай, который почти удвоил установленную мощность ВЭУ на своей территории.

Новые турбины в 2010 г. были установлены во многих странах мира (рис. 4.3) общей мощностью 37 642 МВт (рис. 4.4).

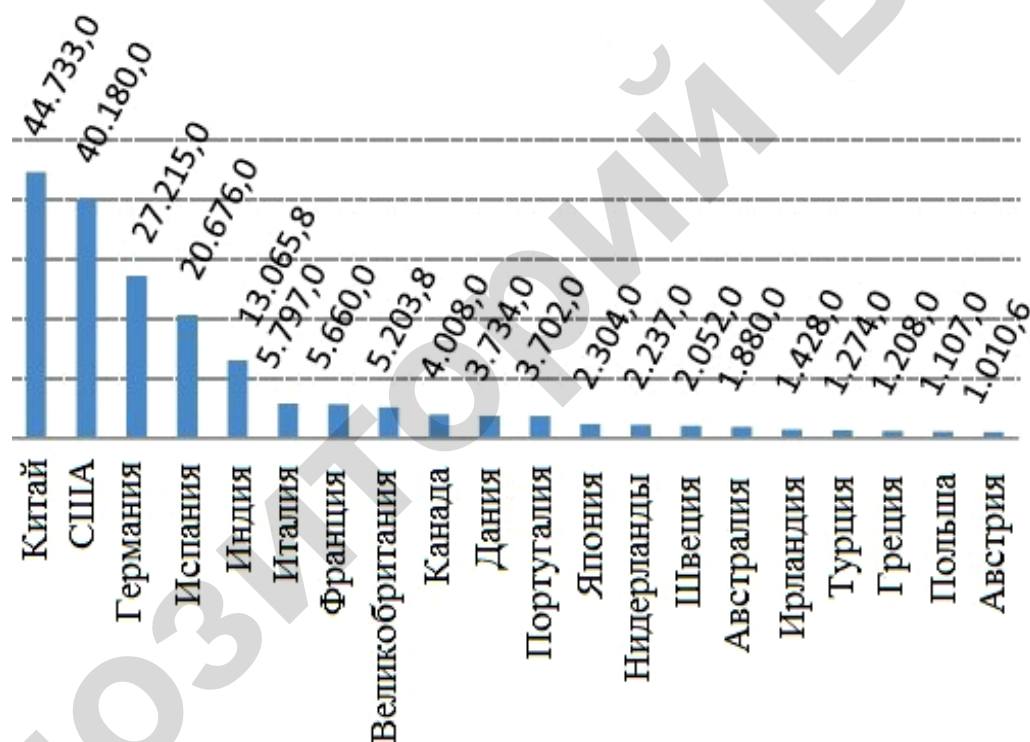


Рис. 4.3. Двадцатка лидеров по установленной мощности ВЭУ в 2010г.

Темпы роста ветроэнергетического сектора демонстрируют взаимоотношение между показателями по новой установленной мощности за прошедший год и установленной мощностью за предыдущие года. Начиная с 2004 г., среднегодовые показатели темпа роста ветроэнергетики постоянно повышаются. В 2009 г. достигнут наивысший показатель с 2001 г. — 31,7 %, по сравнению с 28,7 % в 2008 г., 26,7 % в 2007 г., 25,6 % в 2006 г. и 23,8 % в 2005 г. (рис. 4.1).

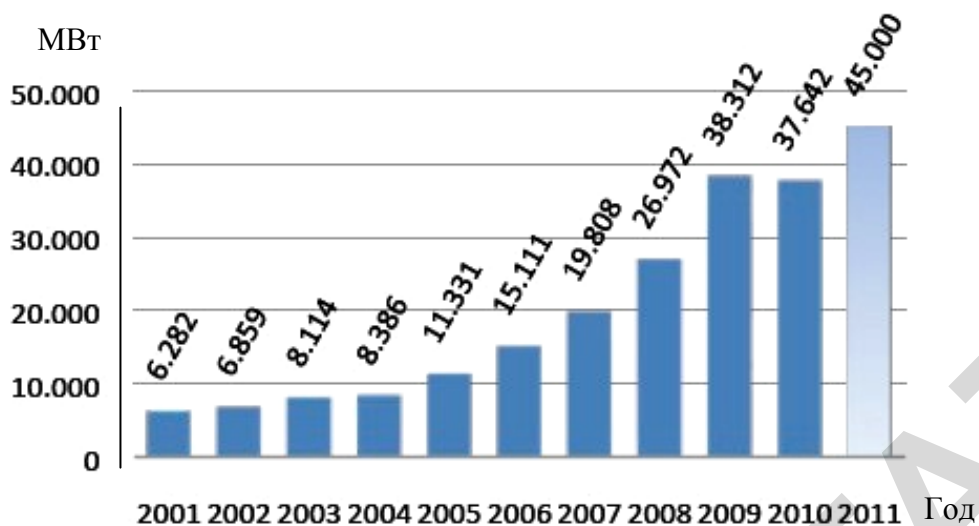


Рис. 4.4. Вновь установленные мощности ВЭУ в мире по годам

Наивысший в мире темп роста более 100 % — продемонстрировала в 2009 г. Мексика, увеличив установленную мощность своей ветроэнергетики в четыре раза. Хорошую динамику роста также продемонстрировали Турция (132 %), в прошлом году показавшая наивысшие темпы роста, Китай (113 %), а также Марокко (104 %). В 2010 г. наивысший в мире темп роста установленной мощности ВЭУ продемонстрировала Румыния; в пятерки лидеров остался также Китай (рис. 4.5).

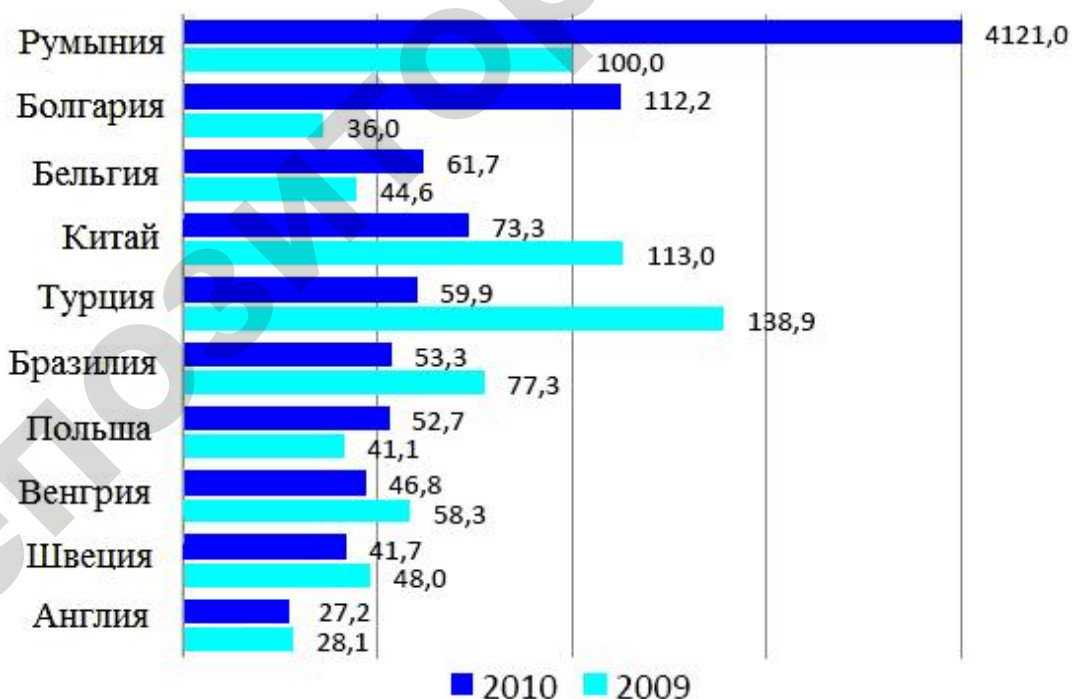


Рис. 4.5. Темпы роста установленной мощности ВЭУ в мире, %

Согласно [6] в 2010 г. в мире на ВЭС было выработано 2,5 % от всей электроэнергии, полученной от всех источников энергии. При этом в секторе

обеспечения ветроэнергетики в мире было около 670 тыс. рабочих мест по сравнению с 235 тыс. рабочих мест в 2005 г., что говорит о достаточно быстром развитии этого сектора энергетики в мире.

Доля ветроэнергетики в Китае достигла 1,2 % от общей выработки электроэнергии; в США — 2 %; в Германии — 9 %; в Испании — 16 %; в Португалии — 18 % и Дании — 21 %.

Интенсивно шло развитие ветроэнергетики также в оффшорной зоне стран мира (рис. 4.6). В табл. 4.1 приведены данные по странам, имеющим ВЭС в оффшорных зонах (станции морского базирования) по состоянию на 2010 г.



Рис. 4.6. Пятерка стран-лидеров в мире по установленной мощности ВЭС в оффшорной зоне, МВт

Таблица 4.1

Страны, имеющие ВЭС морского базирования (2010 г.) [6]

Страна	Суммарная мощность ВЭС оффшорной зоны, МВт	Установлено в 2010 г., МВт	Рост по сравнению с 2009 г., %
Великобритания	1341,0	653,0	94,9
Дания	854,0	190,4	28,7
Нидерланды	249,0	2,0	0,8
Бельгия	195,0	165,0	550,0
Швеция	164,0	0	0
Китай	123,0	100,0	434,8
Германия	108,3	36,3	50,4
Финляндия	30,0	0	0
Ирландия	25,0	0	0

Страна	Суммарная мощность ВЭУ оффшорной зоны, МВт	Установлено в 2010 г., МВт	Рост по сравнению с 2009 г., %
Япония	16,0	15,0	1500,0
Испания	10,0	0	0
Норвегия	2,3	0	0
Итого в мире	3117,6	1161,7	59,4

Если рассмотреть распределение по континентам, то наиболее динамичский прогресс в развитии ветроэнергетической промышленности, начиная с 2007 г., наблюдался в Азии и в Северной Америке (рис. 4.7). Второй год подряд (2009 и 2010 гг.) на долю Европы пришлось менее половины установленной мощности: доля Европы упала с 65,5 % в 2006 г. до 43,7 % в 2010 г. [6].

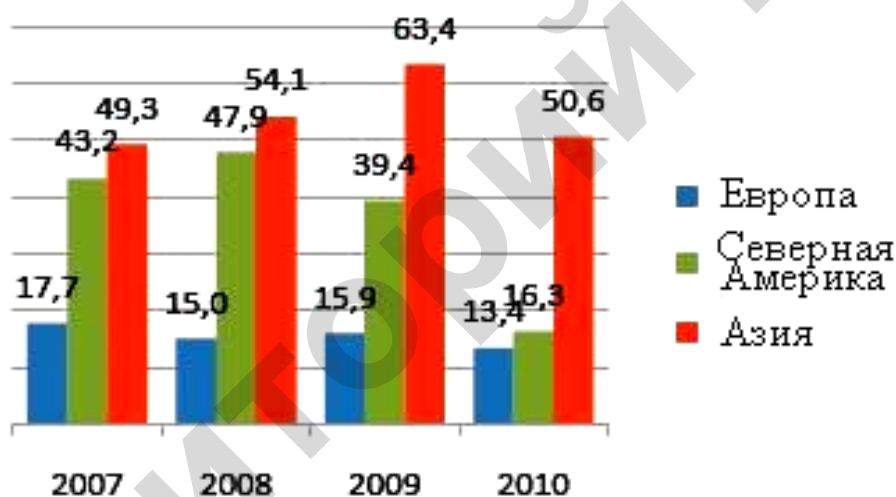


Рис. 4.7. Интенсивность ввода энергетических мощностей ВЭС по регионам

Новым лидером среди континентов стала Азия, на долю которой приходится 54,6 % от введенных в мире в 2010 г. новых ветроэнергетических мощностей (40,4 % в 2009 г. и 31,5 % в 2008 г. [6]).

Скромный вклад в увеличение ветроэнергетических мощностей внесли Латинская Америка (1,2 %) и Африка (0,4 %). Тем не менее, увеличилось число правительств африканских стран, начавших осознавать ветроэнергетический потенциал своих стран и проявлять интерес к созданию необходимой базы для развития данной отрасли.

Суммарные установленные мощности ВЭУ по континентам показаны на рис. 4.8–4.13. Все данные взяты с годового отчета «WWEA» (World Wind Energy Association) за 2010 г. [6].

АВСТРАЛИЯ

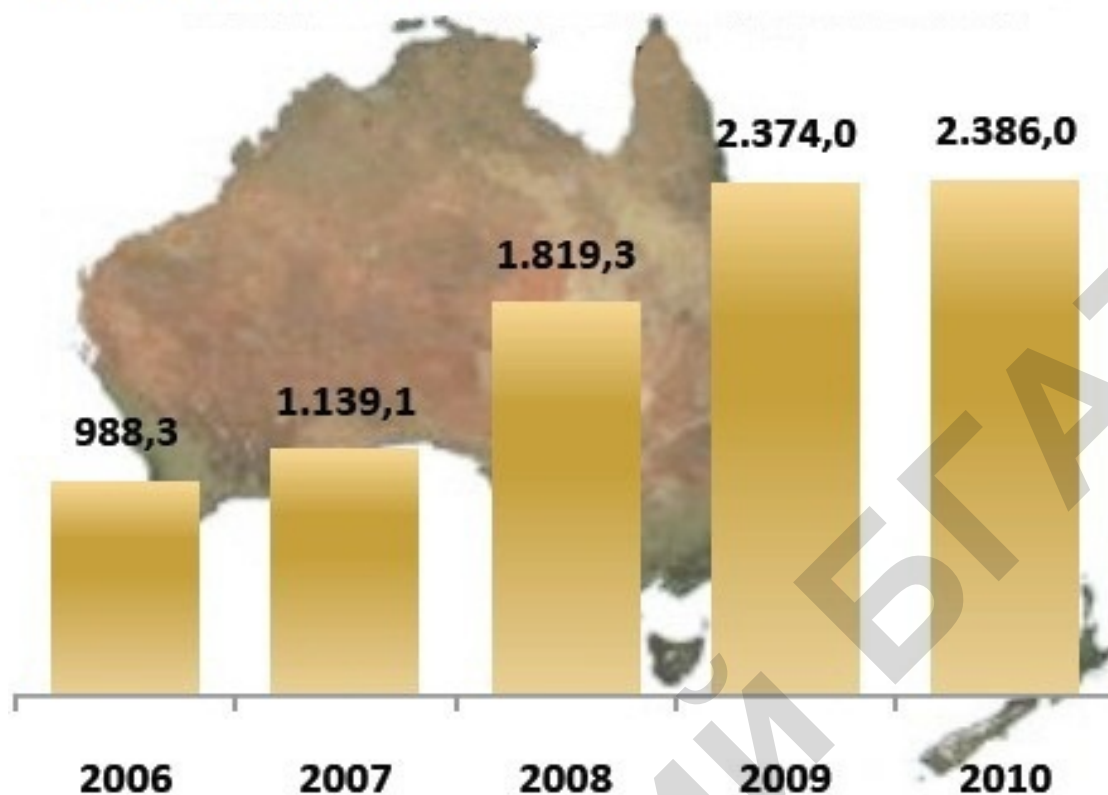


Рис. 4.8. Суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

АЗИЯ



Рис. 4.9. Суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

АФРИКА

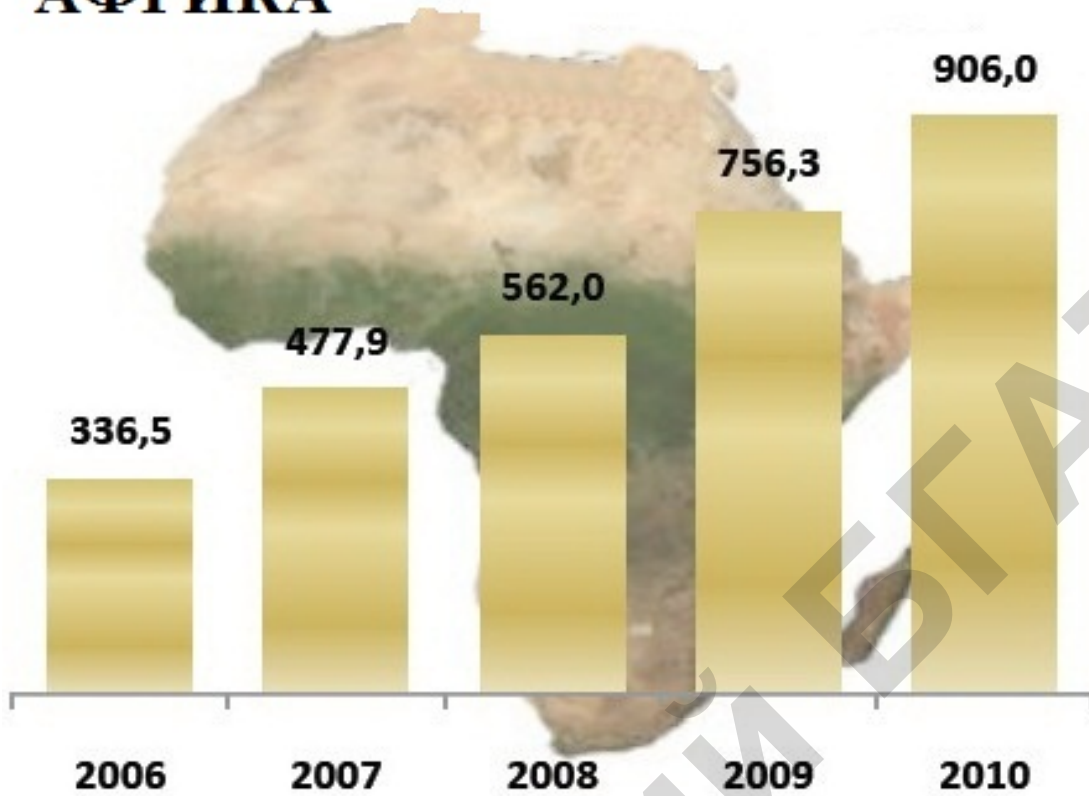


Рис. 4.10. Суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

ЕВРОПА

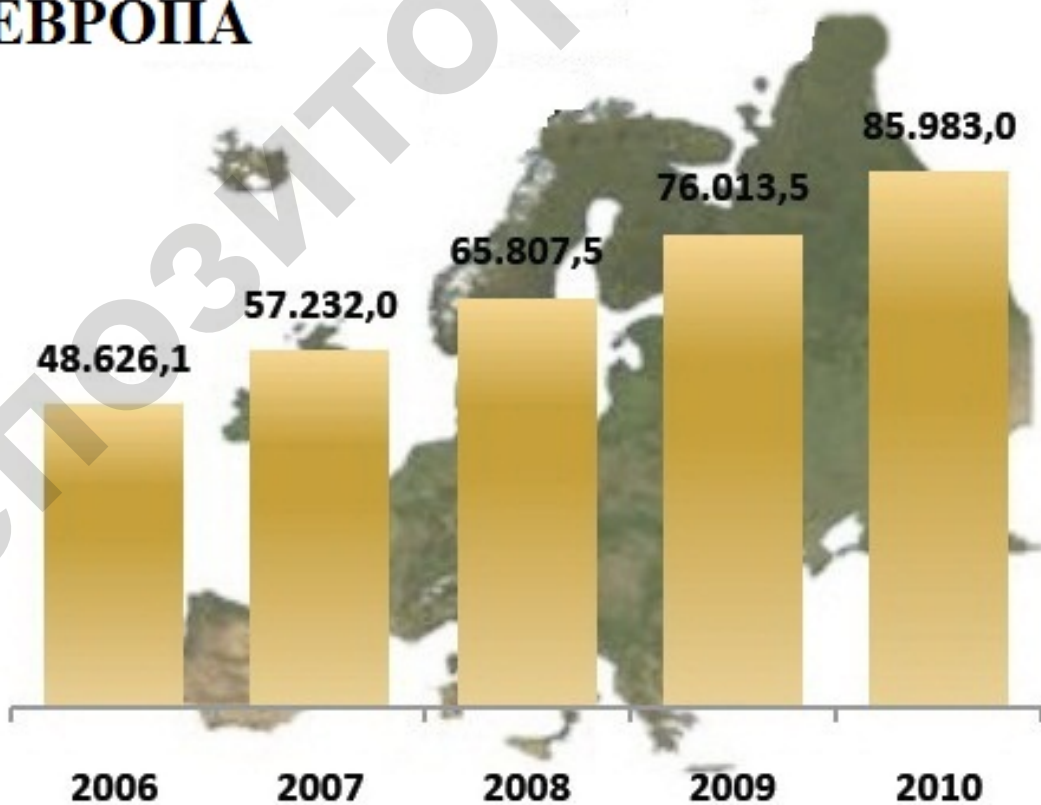


Рис. 4.11. Суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

ЛАТИНСКАЯ АМЕРИКА

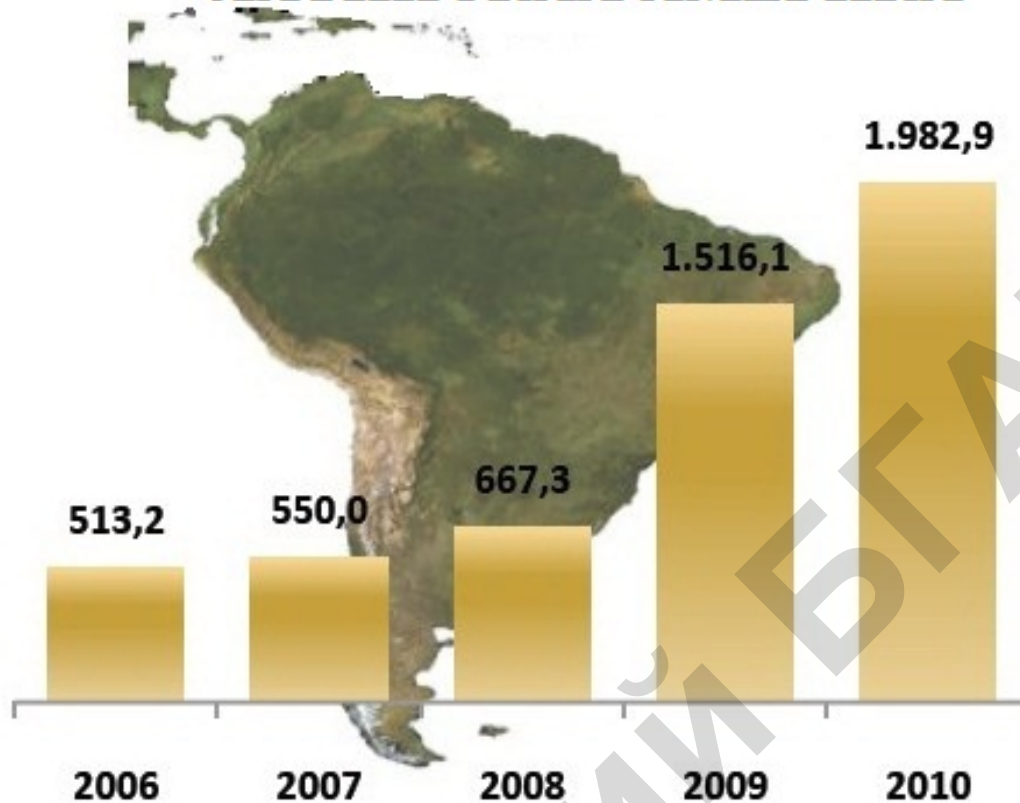


Рис. 4.12. Суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА



Рис. 4.13. Суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

Следует отметить, что ветроэнергетический сектор продемонстрировал впечатляющие темпы роста в 2010 г., не смотря на глобальный финансовый кризис и вопреки предсказаниям различных организаций.

Мировой рейтинг стран, имеющих ВЭУ или ВЭС на своей территории, по состоянию на середину 2011 г. представлен в прилож.1.

4.1. Ветроэнергетика в США

США — один из лидеров мировой ветроэнергетики, как по размерам имеющихся ветряных электростанций, так и по темпам роста установленных мощностей. В 2007 г. ветряные электростанции США выработали более 48 млрд кВт·ч электроэнергии, что составило примерно 1 % от всей электроэнергии, произведенной в США за 2007 г. По данным Американской ассоциации ветряной энергетики («АВЕА») в 2008 г. США вышли на первое место в мире по мощностям построенных ветряных электростанций. В 2008 г. в США установленные мощности ветряных электростанций выросли на 50 %. За год было построено 8 358 МВт новых ветряных электростанций. На конец 2008 г. суммарные мощности ветряных электростанций США составляли 25 170 МВт.

В Соединенных Штатах большие турбины можно увидеть на полях и пастбищах от Калифорнии до Нью-Йорка — каждая обеспечивает энергией 750 жилых домов. В наши дни на ветроэнергетику приходится чуть более одного процента от общего количества электроэнергии, потребляемой американцами, в то время как на долю каменного угля — 52 %.

С 1999 г. на ВЭС «Big Spring» в штате Техас эксплуатируются четыре ВЭУ единичной мощностью 1,65 МВт. Отметка верхней точки ВЭУ достигает 113 м, что выше статуи Свободы. На ВЭС «Big Spring», кроме указанных, работают также ВЭУ с единичной мощностью по 600 кВт. С учетом ввода новых ВЭУ в эксплуатацию полная мощность этой станции составила 34 МВт. Годовой объем производства электроэнергии — 117 млн кВт·ч. Установленная стоимость ВЭУ составляет приблизительно 1170 дол./кВт.

Крупнейшие ВЭС США по штатам представлены в табл. 4.2.

Многие частные лица и предприятия коммунального хозяйства в США внимательно изучают перспективы использования ветровой энергии. И для этого есть веские причины: зависимость от иностранной нефти, загрязнение среды обитания и риск, связанный с использованием ядерной энергии. Ветровая энергия чиста и безопасна.

Работа ВЭС в 2007 г. позволила предотвратить выброс в атмосферу около 28 млн т CO₂. ВЭС, в отличие от традиционных тепловых электростанций, производят электроэнергию без использования воды, что позволяет сократить эксплуатацию водных ресурсов. ВЭС производят электроэнергию без сжигания традиционных видов топлива. Это позволяет сократить спрос и цены на топлива. Одна ветряная турбина мощностью 1 МВт за 20 лет эксплуатации позволит сэкономить около 29 тыс. т угля, или 92 тыс. баррелей⁴ нефти.

Таблица 4.2

Крупнейшие по мощности ветряные фермы США

Название	Штат	Мощность, МВт
«Horse Hollow Wind Energy Center»	Техас	736
«Tehachapi Pass Wind Farm»	Калифорния	690
«San Geronimo Pass Wind Farm»	Калифорния	619
«Altamont Pass Wind Farm»	Калифорния	606
«Sweetwater Wind Farm»	Техас	505

Развитию ветроэнергетики в США способствует льготная налоговая и тарифная политика государства. Так, цена электроэнергии в США в 2007 г. составляла 0,0918 дол. за кВт·ч. По данным «Lawrence Berkeley National Laboratory» (LBNL) двенадцать новых ВЭС, построенных в США в 2007 г., продавали свою электроэнергию по ценам от 0,025 до 0,064 дол. за кВт·ч [15]. При этом шесть из них продавали свою электроэнергию по ценам менее 0,03 дол. за кВт·ч. Как правило, новая ВЭС получает налоговый кредит (но не субсидии) в размере 0,015 дол. за каждый произведенный кВт·ч электроэнергии и, что важно, эта налоговая льгота действует в течение 10 лет.

В 2010 г. президент США объявил о введении налоговых льгот в размере 2,3 млрд дол. для предприятий, использующих возобновляемые источники энергии. Согласно разделу 48С Программы («American Recovery and Reinvestment Act») налоговые льготы в объеме 30 % к совокупному объему инвестиций предусмотрены в отношении 183 проектов производств в 43 штатах. По расчетам правительства, частный капитал, привлеченный в сферу альтернативной энергетики, благодаря налоговым послаблениям составит 5 млрд дол.

⁴ **Баррель** (англ. *barrel*, осн. значение — бочка), мера вместимости и объема, применяемая в США, Англии и ряде стран, использующих английскую систему мер. В США различают баррель сухой, равный 115,628 дм³, и баррель нефтяной, равный 158,988 дм³.

В 2009 г. было продано 20,3 МВт малых ветрогенераторов. Суммарные мощности малой ветроэнергетики превысили 100 МВт. В это же время в США 95 компаний производили оборудование для малой ветроэнергетики. 51 % малых ветрогенераторов было установлено в сельских домах, 19 % — на сельскохозяйственных фермах, 10 % — на предприятиях малого бизнеса, 10 % — в школах и общественных зданиях.

Себестоимость электроэнергии, производимой малыми ветрогенераторами в 2006 г. в США составляла 0,10–0,11 дол. за кВт·ч. Как ожидала Американская ветроэнергетическая ассоциация (АWEА), сегодня себестоимость снизилась до 0,07 дол. за кВт·ч. Наиболее перспективными регионами для развития малой ветроэнергетики считаются регионы со стоимостью электроэнергии более 0,1 дол. за кВт·ч.

«АWEА» прогнозирует, что к 2020 г. суммарная мощность малой ветряной энергетики США вырастет до 50 тыс. МВт, что составит около 3 % от суммарных мощностей страны. Ветряные турбины будут установлены в 15 млн домах и в 1 млн предприятий малого бизнеса. В индустрии малой ветроэнергетики будут заняты 10 тыс. человек. Они ежегодно будут производить продукции и услуг на сумму более чем 1 млрд дол.

Перспективной ВЭУ для малой ветроэнергетики в США является — «Air Breeze» (усовершенствованная модель ветрогенераторов малой мощности серии Air). Ветрогенератор «Air Breeze» (рис. 4.14) более тихий, более эффективный, вырабатывающий большее количество энергии при пониженных скоростях ветра по сравнению с ветрогенераторами этого класса⁵. Ветрогенератор «Air Breeze» стал самым продаваемым ветрогенератором в мире (более 140 тыс. штук в 120 странах). Стартовая скорость этих ветрогенераторов составляет менее 3 м/с, что делает их особенно актуальными для стран с малой ветровой нагрузкой. Исключительно малый вес позволяет легко транспортировать, монтировать и демонтировать эти ВЭУ.

Преимущества ветрогенераторов «Air Breeze Marine»:

- увеличение площади лопастей на 30 %, что позволило увеличить выработку энергии на низких скоростях ветра;
- пониженные характеристики шумового воздействия;
- встроенный интеллектуальный микропроцессорный контроллер со слежением за точкой максимальной мощности.

⁵ Ветроустановка «Air Breeze» является точной копией ВЭУ «Air». Собирается в Китае из фирменных американских комплектующих под надзором разработчика «SouthWest Windpower» (США). Единственной сделанной в Китае частью является корпус генератора.

Благодаря применению новых технологий при изготовлении ветрогенераторов «Air» значительно снизился уровень шума, вырабатываемого при работе установки. Встроенный в ветроголовку контроллер оснащен функцией слежения за точкой максимально возможной мощности и регулирует скорость вращения лопастей для достижения оптимальной производительности ветрогенератора. Данная функция также позволяет регулировать скорость вращения лопастей при слишком высоких скоростях ветра для предотвращения поломки оборудования.

Ветроэлектрические установки «Air» необычайно просты в установке и эксплуатации и не требуют квалифицированного обслуживания. Удобная система крепления и малый вес позволяет устанавливать их как на отдельных мачтах, так и на крышах домов, автомобильных домиков, яхтах и других судах. Данные ветроустановки могут использоваться в качестве зарядного устройства для аккумуляторов на даче, в походе, на морской прогулке яхте, в путешествиях на автомобиле и т. п.

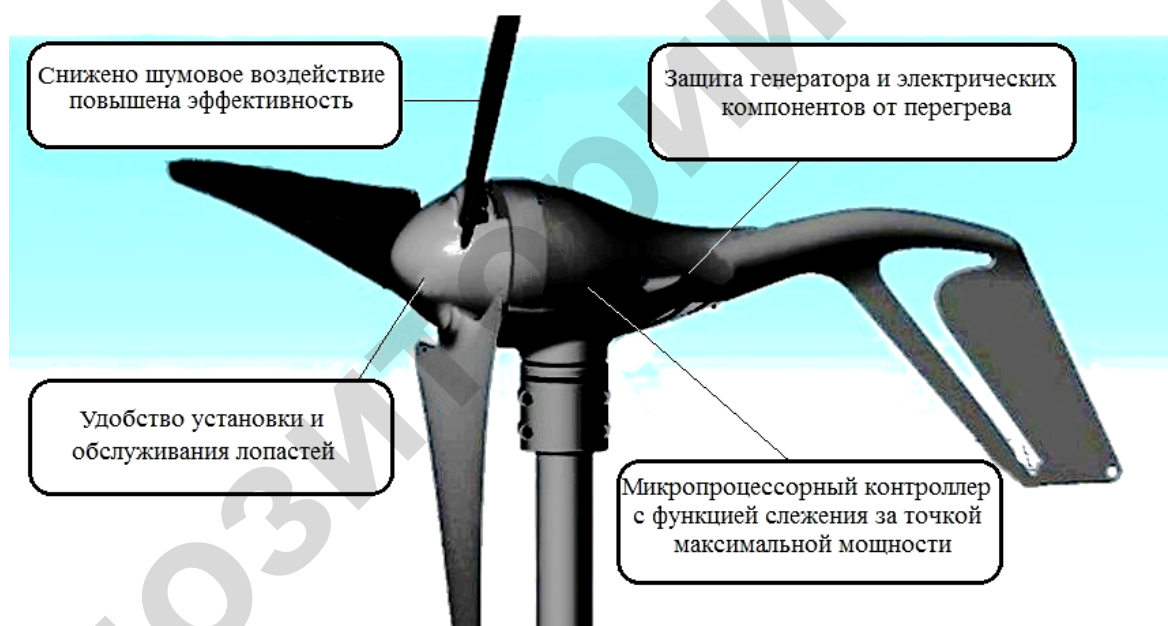


Рис. 4.14. Ветрогенератор Air Breeze Marine

Специальное исполнение Marine (табл. 4.3) позволяет использовать установку в условиях повышенной влажности и опасности появления коррозии. Корпус ветрогенератора покрыт специальным порошковым покрытием. Применение антикоррозионной пасты предупреждает преждевременный износ лопастей и деталей крепления к мачте.

В стандартный комплект ВЭУ «Air Breeze Marine» входят:

- синхронный бесщеточный ветрогенератор с возбуждением от постоянных магнитов и выходной мощностью 160 Вт при скорости ветра 12,5 м/с;

- три лопасти из композитного материала;
- сборная мачта высотой 8,8 м с тросовыми растяжками;
- система крепления ветрогенератора к мачте;
- встроенный микропроцессорный контроллер с функциями слежения за точкой максимальной мощности и регулирования скорости вращения лопастей;
- гелевые аккумуляторные батареи емкостью 65, 100 или 200 А·ч⁶.

В 2010 г. «Mortenson Construction» и «Acciona Energy North America» заключили партнерское соглашение по использованию энергии ветра в Западной Оклахоме и началу строительства новой ВЭС в 2011 г. ВЭС «Dempsey Ridge» на 132 МВт строится на холмах «Roger Mills County». Это всего в 20 милях к западу от ВЭС «Red Hills» близ Elk City, которую они построили в 2008 г.

В рамках строительства ВЭС «Dempsey Ridge», «Mortenson» воздвигнет 66 ветровых турбин и подземный накопитель энергии, линии электропередач, подстанцию, а также множество объектов для обеспечения эксплуатации и технического обслуживания. Электростанция «Dempsey Ridge» является четвертым из числа объектов ветроэнергетики, которые построила «Mortenson» в штате Оклахома и третьим совместным с «Acciona» проектом. «Dempsey Ridge» будет подключена к энергосистеме, и будет генерировать электроэнергию, достаточную для питания 46 тыс. американских домов. Строительство «Dempsey Ridge» будет завершено в декабре 2011 г. — марте 2012 г., и, если потребуется, в будущем «Acciona» может пойти на расширение этой ВЭС.

С момента выхода на рынок возобновляемых источников энергии в 1995 г., «Mortenson Construction» стала ведущей фирмой по созданию и постройке объектов ветровой энергетики в Северной Америке и возвела 5000 ветровых турбин по всей территории Соединенных Штатов и Канады.

Корпорация «Google» на сегодняшний день наиболее известна в IT-секторе, как одна из наиболее популярных поисковых систем. Однако, похоже, компания взяла курс на поддержку «зеленых» технологий», сделав в 2011 г. две прямые инвестиции на развитие сектора возобновляемых источников энергии. Первый инвестируемый проект — это строящаяся в Калифорнии солнечная башня Айванпа. Ну а вторым предприятием компании стал проект «Shepherds Flat», ВЭС в Орегоне, в который Google вложила 100 млн дол.

⁶ При необходимости электроснабжения нагрузки переменного тока в комплект может быть включен преобразователь постоянного напряжения в переменное (инвертор) необходимой мощности.

США [17]. Будучи развернутой на площади в 30 квадратных миль и имея общую сметную стоимость в 500 млн дол. США, ВЭС «Shepherds Flat», в настоящее время принадлежащая компаниям «Caithness Energy» и «GE Energy Financial Services», является крупнейшим энергетическим проектом в мире. Прогнозируемая выходная мощность электростанции составляет 845 МВт, этой энергии достаточно для питания 235 тыс. средних домохозяйств в США. Но уникальным этот проект делает технология получения электричества с использованием турбин с прямой передачей. Работая на гигантских постоянных магнитах, эти турбины являются более эффективными и надежными, чем те, которые используют коробку передач.

Таблица 4.3

Основные технические характеристики ВЭУ «Air Breeze Marine»

Параметры	Значение
Диаметр ротора	1,17 м
Вес	5,9 кг
Размеры в упаковке	686×318×229 мм
Монтаж	На мачте диаметром 48,26 мм
Стартовая скорость ветра	2,68 м/с
Напряжение	12 или 24 В постоянного тока
Выходная мощность	160 Вт при скорости ветра 12,5 м/с
Контроллер	Микропроцессорный интеллектуальный с функцией слежения за точкой максимальной мощности
Корпус	Литой алюминиевый (в исполнении Marine применяется порошковое покрытие для защиты от коррозии)
Лопасты	Композитный материал, упрочненный углеволокном
Защита при высоких скоростях	Электронный контроль крутящего момента
Генерация энергии в месяц	25 кВт·ч/мес. при скорости ветра 4,4 м/с
Максимальная безопасная скорость ветра	49,2 м/с

В США имеются все предпосылки развития оффшорной ветроэнергетики, включая строительство глубоководных ВЭУ. Согласно исследованию, проведенному «National Renewable Energy Laboratory» (NREL) в 2010 г., потенциал оффшорной ветроэнергетики оценивается в 4150 ГВт,

тогда как в 2008 г. суммарная мощность всей энергетики США составляла 1010 ГВт [16].

Компания «Deerwater Wind» объявила о планах создания крупнейшей в мире глубоководной ветровой электростанции. Предполагается, что она будет возведена на протяжении от 29 до 43 км от побережья штата Род-Айленд и Массачусетс и будет производить до 1000 МВт, что сопоставимо с ядерным энергоблоком. Ветряки будут установлены в океане с глубиной дна 52 м — это значительно глубже, чем любая другая современная ВЭС. Преимущество такой установки — в использовании более сильных и устойчивых ветров. Также компания планирует применять массивные турбины мощностью 5 МВт с лопастями, возвышающимися над водой на 150 м, что позволит снизить риск столкновения с судами и сделает их незаметными для жителей побережья, которые могут воспринять ветряки, как разрушающие пейзаж объекты. Следует учитывать, что глубоководные ВЭУ используют самые сильные и стабильные ветра и при этом не осложняют жизнь близлежащим населенным пунктам.

Для того чтобы создать надежные и коммерчески выгодные конструкции, «Deerwater Wind» применила ряд оригинальных технических решений. Так, башни турбин будут установлены на четыре опоры. Дело в том, что с увеличением глубины диаметр основания башни должен увеличиваться в геометрической прогрессии, что делает строительство на глубине более 20 м очень дорогим. С помощью четырех опор ветряк может устанавливаться на большой глубине и при этом стоимость строительства останется приемлемой. Подобные «четырёхногие» платформы уже широко используются для морской добычи нефти и газа. Впервые для ветровых турбин такая конструкция применялась в 2007 году в пилотном проекте в Северном море, известном как «Beatrice Wind Farm Demonstrator Project»: две ВЭУ (5 МВт) были установлены на глубине 45 м.

В качестве примера развития «экзотической» и «нетрадиционной» ветроэнергетики Нью-Йоркская дизайн-студия «Atelier DNA» разработала новую, довольно интересную концепцию устройства, которая собирает энергию ветра без традиционных ветряных турбин [18]. Эта концепция под названием «Windstalk» разрабатывалась специально для проекта экологически чистого города Масдар Сити, что в Абу-Даби, как в качестве местной достопримечательности, так и для производства электроэнергии для нужд города.

Концепция «Windstalk» (рис. 4.15) представляет собой 1 203 довольно гибких столба высотой 55 м, сделанных из углеродного волокна и армии-

рованных полимером, каждый из которых закреплен в земле в бетонном основании 10–20 м в диаметре. Сами столбы у основания имеют 30 см в диаметре и постепенно сужаются, достигая 5 см в диаметре в верхней части. В качестве наполнителя столба служат стеки пьезоэлектрических керамических дисков. Между дисками расположены электроды, которые подключены к кабелям, проложенным по всей длине внутри столба — один кабель соединяет четные электроды, а другой соединяет нечетные.

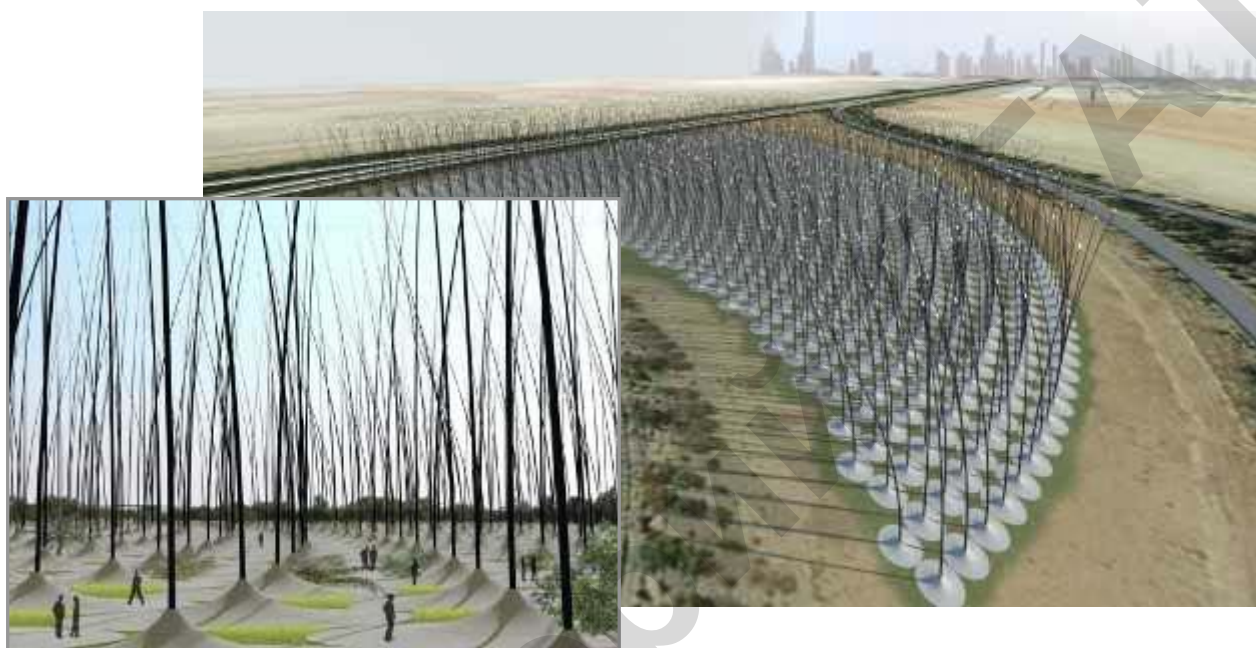


Рис. 4.15. Ветряная ферма нового поколения «Windstalk»

Таким образом, когда столб качается на ветру, пьезоэлектрические диски сжимаются, создавая ток через электроды. Для того чтобы визуально увидеть мощность генерации энергии, каждый столб в верхней части (50 см) оснащен светодиодной лампой, которая светится или тускнеет в зависимости от вырабатываемого количества энергии. Для того чтобы максимизировать количество электроэнергии, производящее ветряной фермой «Windstalk», разработчики разместили в бетонном основании каждого столба генератор крутящего момента, которые преобразуют кинетическую энергию покачивания столбов в электричество. Поскольку производство электроэнергии в концепции «Windstalk» будет зависеть от силы и скорости ветра, дизайнеры разработали способ хранения энергии. Под столбом будут установлены две большие камеры с водой, расположенных друг над другом. Когда дует ветер, часть электроэнергии используется для питания множество насосов, которые поднимают воду из нижней камеры в верхнюю. Потом, когда ветер стихает, вода спускается из верхней камеры в нижнюю, превращая насосы в генераторы.

Один из студентов Университета штата Аризона в качестве очередного курсового проекта решил разработать новый тип ВЭС. Для получения электричества они должны использовать энергию воздушных потоков, возникающих при движении транспорта по крупным автомагистралям. Согласно проекту (рис. 4.16), шоссе́йная ВЭУ будет использовать горизонтально-осевые ветроприемные устройства, смонтированные над дорогами. Согласно имеющимся расчетам при средней скорости транспорта в 112 км/ч, скорость ветра на уровне ветрогенераторов составит не менее 16 км/ч (более 4,4 м/с). В год один генератор сможет «выдавать» около 9600 кВт·ч электроэнергии.



Рис. 4.16. Опытная шоссе́йная ВЭУ в США

Маленькую и симпатичную ветровую турбину, рассчитанную на большие города, показала американская компания «Аеро Vironoment» на фестивале «Wired NextFest», прошедшем в 2010 г. в Нью-Йорке (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Микро-ВЭУ для работы от «городских сквозняков»

Новинка называется «Architectural Wind» и от стандартных ВЭУ отличается, прежде всего, симпатичным дизайном и компактностью. А еще — 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

кой такие «сквозняки» иногда приводят к 30-процентному увеличению производства энергии. Над «Architectural Wind» раскинулся защитный тент, а перед ней — решетка, защищающая птиц от столкновения с лопастями. Высота всей конструкции — 1,98 м, масса — 27,2 кг. Чтобы устройство заработало, требуется сравнительно слабый ветер — скоростью всего 3,1 м/с. В месяц эта установка вырабатывает в среднем 55 кВт·ч электроэнергии.

Общая информация по стоимости электроэнергии в США на период конца 2010 г., получаемой от ВЭС различного базирования (береговые и оффшорные), а также по сценариям развития ветроэнергетики до 2030 г. представлены в прилож. 5.

4.2. Ветроэнергетика в Японии и Тайване

В конце 90-х гг. было признано целесообразным, использовать ВЭУ только для электроснабжения островов, небольших и удаленных от опорных точек сети потребителей.

Самая крупная в Японии ВЭС — ветропарк, расположенный в северной части острова Хонсю. Здесь действует 11 ВЭУ общей мощностью 3 375 кВт. В настоящее время сооружается ветряная ферма на острове Хоккайдо, состоящая из 30 ВЭУ по 1 МВт каждая. Стоимость проекта 47,2 млн дол.

Основной упор в энергетике Японии делался на развитие атомной энергетики. В 2009 г. на ее долю приходилось около 24 % выработки всей электроэнергии; к 2030 г. планировалось довести долю АЭС до 50 %. Последние чрезвычайные события 2011 г. изменили политику государства в этом направлении.

На перспективу до 2050 г. выдвинута программа развития и использования возобновляемых источников энергии, в том числе ветроэнергетики. Установленную мощность ветропарков планируется при этом довести до 50 ГВт при установленной мощности на 2011 г. равной 2,3 ГВт. С учетом аварий на АЭС темп развития ветроэнергетики планируется увеличить таким образом, чтобы достичь установленной мощности ВЭС 50 ГВт к 2040 г., при этом 50 % (25 ГВт) — оффшорные ВЭС.

На современном этапе Япония занимается вопросами исследований и испытаний существующих ВЭУ и проведением социально-экономических и экологических исследований.

Новая ветровая турбина «LoopWing» (рис. 4.18) от одноименной японской компании — это, пожалуй, одна из самых привлекательных внешне вет-

ровых турбин, предназначенных для использования в домашнем хозяйстве. Но и технические характеристики ее также весьма интересны. Диаметр ротора «LoopWing» (модель e1500) составляет всего 1,5 м, а масса установки — 82 кг. При умеренном ветре (8 м/с) «LoopWing» производит 1316 кВт·ч в год, а мощность генератора при такой скорости равна 168 Вт. При 12 м/с его мощность вырастает до 438 Вт.



Рис. 4.18. Японская ВЭУ малой мощности

Главное отличие японской разработки от конкурентов — замысловато изогнутые петлеобразные лезвия ротора, а также экзотическая форма корпуса (все это прошло проверку в аэродинамической трубе), благодаря чему ветряк оказался исключительно тихим (точное значение не приводится). Кроме того, разработчикам удалось полностью устранить вибрацию — проблему многих ветровых турбин. При этом создатели аппарата говорят о сравнительно высоком КПД в 43 %, который достигается уже при умеренных порывах ветра (те же 8 м/с). Кстати, ранее мы рассказывали о британской тихой турбине, но для нее минимальная скорость ветра составляет 4,5 м/с. А вот для того, чтобы начал вращаться «LoopWing e1500», достаточно всего 1,6 м/с — практически, рекордный показатель.

Зарядное устройство NYmini от тайваньской компании MINIWIZ может обеспечивать энергией мобильный телефон, КПК, GPS навигатор или другое мобильное устройство, имеющее USB интерфейс, во время езды на велосипеде (рис. 4.19).



Рис. 4.19. Миниатюрный ветрогенератор для велосипеда

4.3. Ветроэнергетика в Канаде

В декабре 2008 г. установленные мощности ветряной энергетики Канады превысили 2000 МВт и составили 2369 МВт. Канада стала 12 страной мира, имеющей более 2000 МВт установленных мощностей ВЭУ. ВЭС Канады способны вырабатывать электроэнергию, достаточную для обеспечения 671 тыс. коттеджей, что эквивалентно 1 % от всего производства электроэнергии страны. Около 60 % электроэнергии Канада производит на ГЭС. Всего в конце 2008 г. в Канаде работали 88 ВЭС (табл. 4.4).

В северо-восточной и восточной части Канады (в основном на побережье страны) преобладают ветровые нагрузки со скоростью ветра от 8 до 10 м/с на высоте 50 м от земли. Высокие скорости ветра (7,5–9 м/с) наблюдаются также в районе озера Онтарио. Поэтому строительство ВЭС в указанных регионах оправдано экономически [25, 26].

Таблица 4.4

Распределение установленной мощности ВЭУ по провинциям [26, 27]

Регион	Установленная мощность ВЭУ, МВт	
	Начало 2008 г.	Конец 2009 г.
Онтарио	781	1236
Квебек	531	659
Альберта	524	590
Сачкачеван	171	171
Манитоба	103	104
Остров Принца Эдуарда	72	151
Новая Шотландия	59	61

К малой ветроэнергетике в Канаде относятся ветрогенераторы мощностью от 0,3 кВт до 300 кВт. ВЭУ, имеющие установленную мощность до 1 кВт, выполняются высотой до 20 м; ВЭУ от 1 до 30 кВт — 24–43 м и ВЭУ 30–300 кВт — до 50 м. В малой ветроэнергетике Канады работают 135 компаний. Ветрогенераторы для малых ВЭС производят фирмы Канады и США. Всего в Канаде в конце 2008 года были установлены 2200–2500 малых ветрогенераторов. Их суммарная мощность 1,8–4,5 МВт. Потенциал малой ветроэнергетики Канады оценивается в 140 тыс. турбин суммарной мощностью 600 МВт. Провинция Онтарио с октября 2009 г. доплачивает фермерам 0,145 канадских дол. за каждый кВт·ч электроэнергии, произведенной из энергии ветра [25].

Для обеспечения энергией отдаленных поселков применяются гибридные схемы: ветродизельные и ветроводородные. В ветродизельной схеме безветренную погоду энергию производят дизель-генераторы. В ветроводородной схеме излишки энергии используются для производства водорода из воды методом электролиза. Водород хранится, и используется для производства электроэнергии в двигателях внутреннего сгорания. По ветроводородной схеме в Канаде будут работать два проекта: «Prince Edward Island Wind-Hydrogen Village» и в городе Рамея (рис. 4.20).

Канадская компания «Trillium Power Energy Corporation» планирует построить оффшорную ветряную электростанцию мощностью 710 МВт в 15 км от берега Острова Принца Эдуарда. Будет установлено 142 турбины.

Динамика развития ветроэнергетики Канады показана в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Динамика развития ветроэнергетики в последние годы

Год	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
P, МВт	198	236	322	444	684	1460	1770	2369	3319	4008

В прилож. 4 приведены карты ветровых нагрузок на высотах 30, 50 и 80 м на перспективных площадках развития ветроэнергетики Канады — Острове Принца Эдуарда.

В 2008 г. Канадская ассоциация ветроэнергетики (CanWEA) опубликовала прогноз развития ветроэнергетики до 2025 г. под названием «Wind Vision 2025». К 2025 г. установленные мощности ветряных электростанций Канады вырастут до 55 ГВт и смогут вырабатывать 20 % электроэнергии, производимой в стране. Ветроэнергетика создаст 50 тыс. рабочих мест, выбросы парниковых газов сократятся на 17 млн т [26].



Рис. 4.20. Ветро-дизельная электростанция в городе Рамея (Канада)

4.4. Ветроэнергетика в Индии

Индия — один из мировых лидеров ветроэнергетики. В 2010 г. Индия занимала пятое место в мире по мощности установленных ВЭУ после США, Германии, Испании и Китая. В 2010 г. суммарные установленные мощности ветроэнергетики Индии составляли 13 064 МВт. Компания «Suzlon Energy»⁷ называет несколько причин ускоренного развития ветряной энергетики в Индии: низкая стоимость оборудования, правительственные инициативы, энергетическая безопасность, спрос на электроэнергию, экология.

Министерство Нетрадиционных Энергетических Ресурсов (MNES) оценивает потенциал ветроэнергетики Индии в 45 195 МВт. Компания «Vestas RRB India Ltd» оценивает потенциал в 60 тыс. МВт. Наибольшим потенциалом обладает штат Гуджарат — 9 675 МВт.

На большей части территории страны дуют хорошие ветры с мая по октябрь. В Тирунелвели два ветряных сезона: с мая по октябрь и с ноября по март. В Муппандали (юг Тамил Наду) в пиковый период скорость ветра составляет 12–13 м/с, а среднегодовая скорость ветра 6–7 м/с.

В сентябре 2007 г. правительство Индии утвердило план развития ветряной энергетики на 11 пятилетку (2007–2012). До 2012 г. в Индии планировалось построить 10,5 ГВт новых ветряных электростанций. Правительство Индии предоставит различные льготы коммерческим ВЭС, включая 10-

⁷ Suzlon Energy Ltd. — один из крупнейших в мире и в Азии производителей ВЭУ. Компания Suzlon Energy занимает пятое место в мире среди производителей ветрогенераторов (в 2008 году обеспечивала 10,5 % мирового рынка и произвела ВЭУ мощностью более 8 ГВт).

летние налоговые каникулы, отмену импортных пошлин на некоторое оборудование и т. д. Однако развитие ветроэнергетики в Индии сдерживается дефицитом передающих мощностей (электросетей).

Установленные мощности ВЭС представлены в табл. 4.6 [4].

Таблица 4.6

Установленные мощности ВЭУ по штатам Индии
(на 31.03.2010)

Место	Штат	Установленная мощность ВЭУ, МВт
1	Тамилнад	4889,8
2	Махараштра	1942,3
3	Гуджарат	1565,6
4	Карнатака	1340,2
5	Раджастан	738,5

Развитие оффшорной ветроэнергетики проблематично — в Индии трудно найти место для оффшорных ферм из-за большой глубины океана.

Электрический Акт 2003 г. обязывает Энергетические Комиссии Штатов развивать производство энергии из возобновляемых источников, и устанавливает минимальный процент электроэнергии, полученной из альтернативных источников, который должен покупаться энергетическими компаниями штатов. Любая индийская компания может купить ветряную турбину, и установить ее на общественной ветряной ферме, которая поставляет энергию в сеть штата. Если мощности турбины хватает для удовлетворения нужд компании, для компании фиксируют стоимость электроэнергии. Если мощности турбины не достаточно, ее владелец может списать стоимость турбины за 4 года, и зафиксировать стоимость электроэнергии на 20 лет — срок службы турбины.

Энергетические комиссии штатов самостоятельно устанавливают тарифы на электроэнергию, производимую из возобновляемых источников энергии. Например, в 2006 г. в штате Тамилнаду был установлен тариф на электричество, произведенное ВЭС, в размере Rs⁸ 2,75 за кВт·ч, что составляло примерно 0,0219 дол. за кВт·ч. Предыдущий тариф Rs 2,70 оставался неизменным в течение 5 лет. При 20-летнем сроке службы ВЭУ себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии составляла в 2006 г. Rs 1,10–1,15.

Население Индии сейчас больше 1,1 млрд чел., рост ВВП приближается к 9 % в год. Ожидается, что к 2050 г. спрос на энергоресурсы страны достиг-

⁸ Международное обозначение индийской рупии.

нет 1/3 от общемирового показателя. Согласно докладу «Integrated Energy Policy», для обеспечения экономического роста в 8–10 % до 2030 г., Индии надо будет увеличить поставки энергии в 5–7 раз.

Индия — энергодефицитная страна. В больших объемах инвестируют в ветрогенерацию производители цемента и текстиля (по Схеме Финансирования Реконструкции Текстильной Отрасли (TUFS)). Около 65 % электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ, потребляется их владельцами. Остальная электроэнергия подается в электрические сети.

Уже сейчас Индия является шестой по величине энергопотребляющей нацией в мире. На альтернативные источники, в настоящее время приходится лишь 5 % ее генерирующих мощностей. Индия сильно зависит от импорта нефти: более 30 % энергетических потребностей страны покрывается за ее счет, из которых 70 % импортируется. Поэтому, энергетическая независимость является одним из важнейших приоритетов для Индии. Правительством были поставлены задачи по обеспечению энергетической безопасности к 2020 году и энергетической независимости к 2030 г. Акцентировать внимание в Индии планируют именно на развитии альтернативной энергетики, увеличив генерирующие мощности энергии со 130 до 400 ГВт к 2030 г. Существующий недостаток в энергии планируется заполнить посредством:

- гидроэнергетического потенциала — на 80 ГВт;
- солнечной энергетики — 55 ГВт;
- ветровой энергетики — 64 ГВт;
- ядерной — 50 ГВт;
- переработки биомассы.

В 2007 г. Индия добавила 2 ГВт мощности от возобновляемых источников, в основном от ветра. В 2011 г. с помощью альтернативной энергетики вырабатывалось меньше 10 ГВт энергии. Наиболее активным инвестором в Индии является сегодня Министерство по новым и возобновляемым источникам энергии (MNRE). Недавно был увеличен его капитал до 226 млн дол., что позволит вкладывать ему большие суммы в проекты. В 2006 г. примерно половина инвестиций венчурного капитала (100 млн дол.) были направлены на увеличение мощностей ВЭУ. Что касается инвестиций, то здесь необходимо отметить ежегодное увеличение их объема. В 2012 г. планируется построить крупнейшую ВЭС, суммарной мощностью около 13 ГВт (в проект предполагается вложить более 50 млрд дол.).

Можно не сомневаться в том, что развитие альтернативной энергетики будет идти в Индии бурными темпами.

4.5. Ветроэнергетика в Китае

По оценкам Китайского института научных исследований климата («China Climate Science Research Institute») потенциал ветроэнергетики Китая составляет 3,22 млн МВт. Технический потенциал оценивается в 1 млн МВт, из них 253 тыс. МВт наземных электростанций и 750 тыс. МВт оффшорных, так как Китай обладает протяженной береговой линией, что способствует развитию оффшорной ветроэнергетики [4].

При этом наибольшим потенциалом для развития ветроэнергетики обладает провинция Внутренняя Монголия. На ее территории могут быть расположены около 40 % мощностей ВЭУ Китая. К 2010 г. в этой провинции построено 5 тыс. МВт мощностей ВЭС. Второе место по потенциалу занимает Турфанская котловина, ресурсы которой оцениваются в 1 млрд кВт·ч в год с площади 1 тыс. км². Как и предполагалось по оценкам EER Wind Research, к 2011 г. Китай стал крупнейшим в мире рынком сбыта ВЭУ [11].

Продвижению Китая на первое место в мире по использованию ВЭС для выработки электрической энергии способствовала последовательная политика государства в направлении развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и ветроэнергетики в частности. Так с 1995 по 1999 гг. в Китае приняты ряд Законов КНР, Постановлений и Инструкций по ветроэнергетике, включая строительство, развитие использования ВЭУ и систем электроснабжения с их участием. Для разрешения вопросов, возникающих на местах при внедрении ВЭУ, в структуре местных властей централизованно был создан новый орган — управление по освоению новых видов энергии.

Успехи, достигнутые Китаем в деле развития ВИЭ, создали условия для предоставления Мировым Банком гранта в рамках программы «Глобальная Окружающая Среда» для проекта «Развитие энергетики на ВИЭ» (Грант номер LN 4400 США от 1999 г.). Грант был подкреплён Постановлением Правительства КНР № 1286 о предоставлении налоговых и импортных льгот на ввозимое оборудование и технологию. В 2000 г. Госкомитет по экономике и торговле, в рамках политики переноса технологий производства на национальные производственные мощности, принимает постановление по ускорению отечественного производства ВЭУ. Постановление жестко ставило задачу по переводу технологий от практики заимствования к самостоятельной разработке и производству. В тех случаях, когда производство уже налажено по импортной технологии, ставилось условие, что до 60 % узлов и агрегатов, используемых при конечной сборке, должны производиться на китайских заводах.

Китай можно считать одним из ведущих государств Азии в области использования ВИЭ. По заключению Института Энергетики Великобритании, в Китае степень вовлечения составляет 0,12. Для Индии, конкурента Китая в азиатско-тихоокеанском регионе, этот показатель составил 0,10. Для примера, степень вовлечения всего американского континента составляет 0,5. В Европе этот показатель составляет 0,23 [19]. Этому способствует и ветровая нагрузка на территории Китая (см. прилож. 6).

Изначально сделав ставку на заимствование зарубежной технологии для создания национальных ВЭУ, Китай широко открыл двери для корпораций и компаний занимающихся ветроэнергетикой (см. рис. П. 6.2, прилож. 6). Первой иностранной компанией, поставившей в Китай ветроэнергетическое оборудование, была датская компания «Vestas».

Несмотря на стремление китайского правительства перенять технологии производства ВЭУ, основу парка оборудования ВЭ все же составляет прямой импорт. В настоящее время доля иностранного оборудования эксплуатирующегося на территории Китая распределилась следующим образом: На первом месте Дания (67 % от общего числа импортируемого оборудования), на втором месте Германия (21 %), на третьем месте США (11 %). Ветроэнергетическое оборудование сегодня поставляют фирмы, представленные в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Эксплуатируемые марки ВЭУ зарубежных компаний в Китае

Название фирмы (оборудования)	Мощность ВЭУ, МВт
AN BONUS	450
BONUS	600, 1000, 2000
JACOBS	750, 1500
NEG Micon	600, 750
NORDEX	600
TACKLE	600
VESTAS	600, 850, 1500, 1650, 2000
NTK	300
Enron	750, 1500, 2000
Elkraft	1000
TURBEX 100	3000

В настоящий момент на рынке импортные производители представлены только «TURBEX-100» мощностью в 3 кВт. Объем продаж, которого состав-

ляет всего несколько процентов от общего объема продаж. Это обусловлено тем, что сегмент потребителей ВЭУ этой мощности (от 1 до 3 кВт) составляют крестьяне и пастухи которые, до недавнего времени, были не в состоянии заплатить такую сумму за установку с повышенной энергетической мощностью. По мере развития рынка сельскохозяйственной продукции на местных уровнях повысилась покупательная способность сектора и возросла потребность в установках мощностью 1–2 кВт.

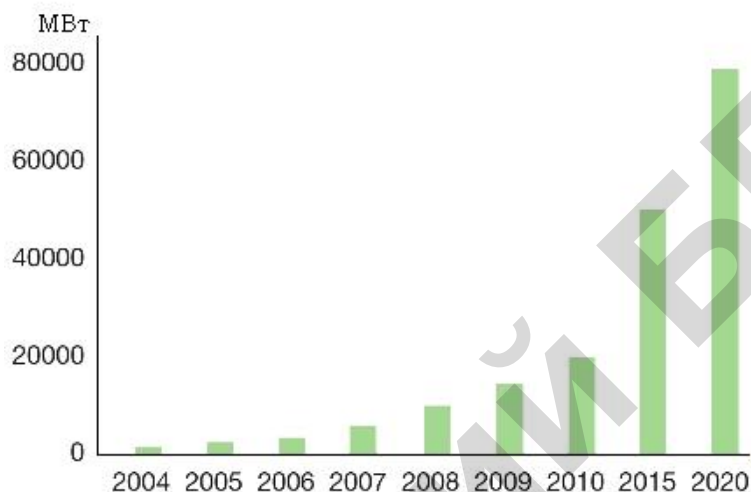


Рис. 4.21. Реальная и прогнозируемая установленная мощность ВЭУ

До 2012 г. Китай построит около 30 крупных ВЭС мощностью по 100 МВт и более. Согласно национальному плану развития, установленные мощности Китая должны вырасти до 30 тыс. МВт к 2020 г. Общая установленная мощность ВЭУ при этом составит 80 ГВт (рис. 4.21).

В настоящее время Китай продолжает динамично развиваться, обгоняя по темпам роста все страны региона. Значительно растет и потребность в электроэнергии. Сейчас энергетика Китая удовлетворяет потребности промышленности и населения только на 80–90 %. Особо остро стоит вопрос с обеспечением энергией населения проживающего в удаленных районах.

Крупнейшим получателем инвестиций на развитие ветроэнергетики (табл. 4.8) остается Европа (94,4 млрд дол.), далее следуют Азия и Океания (82,2 млрд дол.), где Китай имеет первостепенное значение. Эксперты поясняют: инвестиции в энергетiku — признак существования у власти четкой программы развития сектора. Так, в Германии есть система, поощряющая дома и офисы переходить на возобновляемые источники энергии: излишки можно продать электросети по ценам выше рыночных. В Китае и вовсе принят план, по которому к 2020 г. ветроэнергетика будет давать 150 ГВт (предположительно, он будет выполнен лет на пять раньше), а солнечная —

20 ГВт. Для сравнения: в США первая обеспечивает всего 33 ГВт, а вторая — 0,6 ГВт. При этом у Штатов до сих пор нет обстоятельной стратегии в отношении возобновляемых источников энергии. Вместо этого власти продолжают «кормить» деньгами ископаемое топливо.

Согласно наблюдениям, 5 национальных энергетических компаний — «China Power Investment Group», «Guodian», «Datant», «Huaneng и Huadian» построят самые большие ВЭС. Наибольшая из которых — Datant мощностью 400 МВт будет находиться в провинции Жилинг. В целом, страна инвестирует 5 000 юаней за 1 кВт (764 дол.) или около 764 тыс. дол. за 1 МВт мощности ВЭС.

Таблица 4.8

Первая десятка стран-лидеров по инвестициям в развитие ветроэнергетики на конец 2010 г.

Место в 2010	Страна	Инвестиции в ВЭУ, млрд дол.		Место в 2009
		2010	2009	
1	Китай	54,4	39,1	1
2	Германия	41,2	20,6	3
3	США	34,0	22,5	2
4	Италия	13,9	6,2	8
5	Остальные ЕС-27	13,4	13,3	4
6	Бразилия	7,6	7,7	7
7	Канада	5,6	3,5	9
8	Испания	4,9	10,5	6
9	Франция	4,0	3,2	12
10	Индия	4,0	3,2	11

Если все и дальше будет так хорошо, то к началу 2012 г. страна подойдет с 58 ГВт установленной мощности ветроэнергетики, имея планы на установку еще 150–230 ГВт за следующее десятилетие. Китай уже сейчас имеет самую большую установленную мощность ВЭС. Большая часть новых мощностей будет располагаться на берегу, и только 100 МВт предназначено для морского базирования в провинции Гуанчжоу в Восточном Китае (рис. 4.22).

В Китае специалисты считают, что энергия ветра — наиболее экономически эффективная технология, которая может быть развита на основе крупномасштабных проектов; эту технологию развивать дешевле, чем солнечную энергетику или энергетику биомассы, несмотря на то, что сбор сырья является очень развитым в Китае.

В различных провинциях (регионах) и оффшорных зонах Китая существуют государственные планы развития ветроэнергетики на перспективу (табл. 4.9). Кроме того, созданы сценарии развития ветроэнергетики на уровне Китайской инженерной Академии (табл. 4.10) и на правительственном уровне (табл. 4.11), предполагаемые результаты которых представлены в табл. 4.12.

Ветер, вероятно, задает темы повестки дня возобновляемой энергетики Китая. Страна надеется получить к 2020 г. 15 % своей электроэнергии от экологически чистой энергии.

Оригинальный ветрогенератор с вертикальной осью (рис. 4.23) разработали китайские инженеры фирмы «Guangzhou Institute», который носит название «Maglev Turbine». Мощность ВЭУ — 1 ГВт.



Рис. 4.22. Подготовка к монтажу ВЭУ для оффшорной зоны

Таблица 4.9

План развития ветроэнергетики регионов Китая

Регион	Установленная мощность, МВт	
	2015	2020
Шанхай (Shanghai)	700	1550
Жиангсу (Jiangsu)	4600	9450
Зежианг (Zhejiang)	1500	3700
Шандонг (Shandong)	3000	7000
Фьюджиан (Fujian)	300	1100
Другие	5000	10000
ИТОГО	15100	32800

Таблица 4.10

Сценарии развития ветроэнергетики в Китае до 2030 г.

Год	Сценарий 1 (минимальный)			Сценарий 2 (максимальный)		
	Мощность ВЭУ, ГВт	Установленная мощность ВЭУ, ГВт	Уровень роста мощности ВЭУ, %	Мощность ВЭУ, ГВт	Установленная мощность ВЭУ, ГВт	Уровень роста мощности ВЭУ, %
2010	30	8	36,4	30	8	8,1
2015	60	6	14,9	95	13	25,9
2020	100	8	10,8	200	21	16,1
2030	200	10	7,2	400	20	7,2

Таблица 4.11

Экспертные сценарии развития ветроэнергетики в Китае

Год	Сценарий 1 (оптимальный)			Сценарий 2 (позитивный)		
	Мощность ВЭУ, ГВт	Установленная мощность ВЭУ, ГВт	Уровень роста мощности ВЭУ, %	Мощность ВЭУ, ГВт	Установленная мощность ВЭУ, ГВт	Уровень роста мощности ВЭУ, %
2015	112	15,0	24,8	130	18,0	26,6
2020	202	18,0	12,5	230	20,0	12,1
2030	302	10,0	4,1	380	15,0	5,2
2040	402	10,0	2,9	530	15,0	3,4
2050	502	10,0	2,3	680	15,0	2,5

Таблица 4.12

Энергетический эффект по сценариям (табл. 4.10)

Сценарий	Показатели	Годы					
		2010	2015	2020	2030	2040	2050
1-й	<i>N</i>	37	112	202	302	402	502
	<i>W</i>	64,1	210,6	408,3	649,3	884,4	1104,4
2-й	<i>N</i>	40	130	230	380	530	680
	<i>W</i>	69,3	244,4	464,9	817,0	1166,0	1496,0

N — установленная мощность ВЭУ, ГВт
W — количество выработанной электроэнергии всеми ВЭУ, ТВт·ч



Рис. 4.23. Ветрогенератор «Maglev Turbine»

В роли генератора применен линейный синхронный двигатель. Одна турбина «Maglev» обеспечивает электроэнергией 750 тыс. домов. Еще одна особенность ветрогенератора — подвеска «Maglev Turbine» плавает на магнитной подушке. Эта технология сходна с технологией поездов на магнитной подвеске и устраняет все трение. Компания-производитель ставит своей целью производить 25 % всей энергии к 2020 г. на ветровых станциях типа «Maglev Turbine». Так что Китай продолжает развитие ветроэнергетики во всех направлениях.

Раздел 5.

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В ЕВРОПЕ

Согласно статистическим данным, опубликованным Европейской ветроэнергетической ассоциацией [6], в 2009 г. в странах Евросоюза новых ветроэнергетических мощностей было введено намного больше, чем энергообъектов, основанных на других технологиях. Такая тенденция здесь наблюдается второй год подряд. Всего на ветроэнергетический сектор пришлось 39 % новых энергогенерирующих мощностей, второе и третье место, соответственно, заняли газотурбинные электростанции (26 %) и фотоэлектрика (16 %). Суммарно на долю всей возобновляемой энергетики пришлось 61 % от общего количества введенных в 2009 г. энергетических мощностей. В целом, установленная мощность ветроэнергетики Евросоюза в настоящее время достигла 74 767 МВт (64 719 МВт на конец 2008 г.), что соответствует годовой выработке в 163 млрд кВт·ч электроэнергии или 4,8 % электропотребления в ЕС.

В число стран-лидеров Европы по новым установленным ветроэнергетическим мощностям за 2009 г. вошли: Испания (24 % — 2 459 МВт), Германия (19 % — 1 917 МВт), Италия (11 % — 1 114 МВт), Франция (11 % — 1 088 МВт) и Великобритания (10 % — 1 077 МВт), при этом европейским лидером в этом вопросе пока остается Германия.

В настоящее время 15 европейских государств разрабатывают проекты оффшорных ВЭС. У берегов Европы уже эксплуатируются 11 ветряных ферм, а 22 ВЭС находятся в процессе строительства. К 2020 г. ВЭС покроют более 15 % энергетических потребностей Европы (рис. 5.1).

По данным «GWEC» [8] в новые ветроэнергетические мощности в 2009 г. было инвестировано 45 млрд евро, при этом количество людей, работающих в ветроэнергетической промышленности, превысило 500 тыс. человек (рис. 5.2). Инвестиции в строительство новых европейских ВЭС за 2010 г. достигли суммы в 13 млрд евро, в том числе 1,5 млрд евро на развитие оффшорных ветростанций.

Евросоюз объявил об основании Европейской ветровой инициативы («European Wind Initiative» (EWI)) — десятилетней «дорожной карты»

по исследованиям и развитию в секторе ветровой энергетики. Целью Европейской ветровой инициативы является обеспечение технологического лидерства Европы в морском и наземном секторах ветровой энергетики. Эти усилия должны до 2020 г. сделать наземные ветровые электрогенерирующие системы наиболее конкурентным источником энергии. Это также касается и ветровых станций морского базирования, которые должны стать лидерами энергетического рынка до 2030 г. При условии надлежащего финансирования исследовательских и производственных проектов до 2020 года ветровая энергетика должна давать Европе 20 % от общего потребления электроэнергии. По прогнозу, этот показатель постоянно будет увеличиваться — до 33 % в 2030 г. и до 50 % в балансе потребления электричества в странах ЕС до 2050 г. Реализация этой программы может создать в Европе 250 тыс. новых рабочих мест высокой квалификации в секторе ветровой энергетики уже до 2020 г.

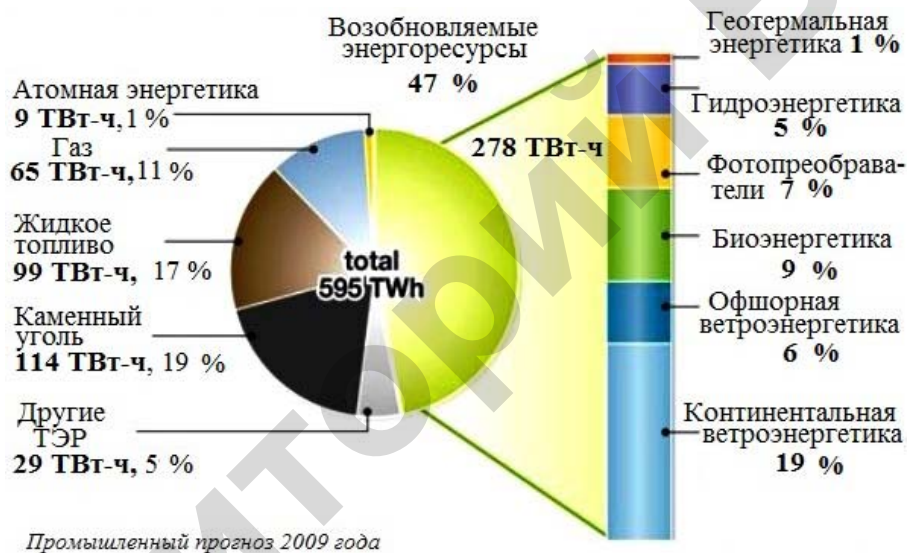


Рис. 5.1. Прогнозный сценарий по структуре выработки электрической энергии в Европе в 2020 г.



Рис. 5.2. Предоставление рабочих мест благодаря развитию ветроэнергетики в мире, чел

5.1. Ветроэнергетика в Дании

В Дании при среднегодовой скорости ветра чуть более 5 м/с удельная годовая производительность ВЭУ достигает 937 кВт·ч/м². В структуре потребления первичных энергоресурсов в 2002 г. 7 % приходилось на нетрадиционные источники энергии (включая ветровую электроэнергетику). Общее число ВЭУ на 2003 г. насчитывало 3300 агрегатов. В 2006 г. уже 16 % электроэнергии вырабатывалось на ВЭУ.

Дания один из лидеров и пионеров оффшорной ветроэнергетики. Здесь построена первая ВЭС «морского базирования», состоящая из 11 ВЭУ мощностью по 1,5 МВт каждая. На побережье Северного моря установлен парк ВЭУ общей мощностью 160 МВт (80 ВЭУ по 2 МВт). В 2003 г. во всем мире было построено 530 МВт оффшорных ВЭС, из них 492 МВт были построены в Дании (рис. 5.3).

Дания является важнейшим экспортером оборудования для ВЭУ, поставки которого осуществляются в США, Индию и некоторые страны Европы. Изготовлением занимаются, как правило, предприятия сельскохозяйственно-го машиностроения: «Vestas», «Nordtank», «Bonus», «Nordex», «Micon». В настоящее время Дания осуществляет до 70 % мирового оборота рынка ВЭУ.

По прогнозам Датской ассоциации ветряной индустрии если в 2008 г. 25 % электроэнергии Дании было выработано ВЭС, то к 2015 г. доля ветряного электричества вырастет до 35 % [4, 11].



Рис. 5.3. Оффшорная ВЭС около Копенгагена

Производство 75 % ветряных турбин принадлежат частным инвесторам. Около 100 тыс. граждан Дании инвестировали в ветряную энергетику. Половина ВЭУ принадлежит кооперативам. К 1996 г. было создано около 2100 кооперативов, которые инвестировали в строительство ветряных электростанций и владели ими. Динамика развития ветроэнергетики в Дании

показана в табл. 5.1. Датские производители оборудования для ветроэнергетики примерно 90 % своей продукции и услуг отправляют на экспорт. В 2006 г. компании Дании произвели ветряных турбин суммарной мощностью 5 439 МВт, из них на экспорт было отправлено 99 %. Датские компании занимают около 38 % мирового рынка оборудования для ветроэнергетики. Суммарная выручка датских компаний — около 3 млрд евро в год. В ветряной индустрии Дании занято примерно 20 тыс. человек.

Таблица 5.1

Рост установленных мощностей ВЭУ

Год	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Р, МВт	2489	2892	3117	3125	3129	3136	3145	3180	3482	3752

Датская компания «Vestas Wind Systems A/S» — один из крупнейших в мире и старейший из современных производителей ветрогенераторов. Компания основана в 1898 г. Свою первую ветряную турбину компания установила в 1979 г., а уже в 1980 г. начала серийное производство турбин мощностью 55 кВт. В 1983 г. открыто отделение компании в США «Vestas North America, Ltd». К концу 1985 г. «Vestas» продала в США 2500 турбин. В ноябре 1991 г. компания построила свою тысячную турбину в Дании. 2003 г. — доля компании «Vestas» на мировом рынке ветрогенераторов составляет 23 %. В июне 2010 г. компания начала разработку фундаментов для оффшорных ветряных турбин, которые будут строиться на участках моря глубиной до 70 м. К 30 июня 2007 г. «Vestas» установила в 63 странах мира 33 685 ветрогенераторов суммарной мощностью 25 721,75 МВт (табл. 5.2).

На современном этапе «Vestas» производит промышленные ВЭУ мощностью от 850 кВт до 3,0 МВт.

Таблица 5.2

Крупнейшие рынки сбыта ВЭУ фирмой Vestas на 2007 г.

Страна	Количество ВЭУ	Установленная мощность ВЭУ, МВт
Германия	5232	6117,78
США	9027	4232,01
Дания	4856	2399,08
Индия	3874	1869,84
Испания	1702	1661,96
Италия	1529	1353,12
Нидерланды	1042	1055,00

Дания открыла в октябре 2010 г. в Балтийском море одну из крупнейших в мире морских ветряных электростанций. Электростанция «Rosand II», расположенная в 150 км к юго-востоку от Копенгагена, способна обеспечить энергией 200 тыс. домов. В ней используются 90 силовых агрегатов «SWT 2,3–93» компании «Siemens» общей мощностью 207 МВт (рис. 5.4–5.6). Электростанцию начали строить во второй половине 2009 г. Она обошлась Дании почти в 750 млн дол. Считается, что эксплуатация станции позволит сократить выбросы углекислого газа в атмосферу на 700 тыс. тонн ежегодно. Сейчас потребность Дании в электроэнергии на пятую часть обеспечивается за счет ВЭУ.



Рис. 5.4. Монтаж шельфовой ВЭУ для ВЭС «Родсанд II»

ВЭС — часть портфеля экологических продуктов и технологий концерна «Siemens». В 2009 финансовом году объем их продаж составил около 23 млрд евро. Такие показатели делают «Siemens» крупнейшим в мире поставщиком экологически чистых технологий. За указанный период продукты и решения компании позволили ее клиентам сократить выбросы CO_2 на 210 млн т. Это равняется годовым выбросам CO_2 Нью-Йорка, Токио, Лондона и Берлина, вместе взятым.

Парламент Дании одобрил план строительства самой крупной в стране ВЭС, которая будет расположена в проливе Северного моря Каттегат

(Kattegat) между полуостровом Ютландия (Jutland) и островом Анхольт (Anholt). Открытие ВЭС планируется в 2012 г., ожидаемый объем производства электроэнергии — 400 МВт. В проливе будет установлено 100–175 ВЭУ. Сегодня в Дании находится 5 267 турбин, 70 % из которых расположены на полуострове Ютландия. Ожидается, что к 2020 г. 30 % электроэнергии Дания будет вырабатывать с помощью ветра.



Рис. 5.5. Лопasti турбины «SWT 2.3—93»



Рис. 5.6. Трансформаторы весом 990 т тоже устанавливаются в море

Датские ученые продолжают работать над совершенствованием ВЭУ; они изобрели новую структуру лопастей ветротурбин, которые за счет несущего каркаса лопасти станут крепче и легче, что, в свою очередь, позволит

уменьшить толщину самих лопастей на 40 % [24]. Новая технология в настоящее время проходит лабораторные испытания.

Инженеры ожидают существенной экономии материала при изготовлении лопасти, а также снижения ее веса. Новый дизайн будет использоваться на 40–45-метровых лопастях классических ветротурбин мощностью 2,2 МВт.

Кроме того, Лаборатория технического университета Дании недавно успешно закончила испытания электрической ветровой турбины с лазерным анемометром, встроенным в обтекатель. Созданная в Дании новая лазерная технология позволяет предвидеть надвигающиеся штормовые удары ветра по лопастям винта турбины. Предсказание параметров ветра позволяет оптимизировать положение и угол атаки лопастей винта и увеличивает долговечность турбины (рис. 5.7).



Рис. 5.7. «Умная» ветровая электрическая турбина

Ожидается, что эти технологии позволят увеличить производство электроэнергии на 5 %, прежде всего за счет возможности увеличения длины лопастей. Для турбин мощностью 4 МВт это даст экономический эффект 200 тыс. датских крон в год. По оценке датского энергетического агентства (Danish Energy Agency) установка лазерной системы «wind LIDAR» только на каждой десятой ветровой турбине к 2025 г. уменьшит выбросы в атмосферу CO₂ на 25 тыс. тонн при одновременном увеличении долговечности и эффективности ветровых генераторов.

Ветроэнергетика является предметом национальной гордости датчан. Имеющиеся в стране 5,2 тыс. ВЭУ установок сейчас обеспечивают 20 % ее потребностей в электроэнергии. К 2025 г. планируется довести этот показатель до 50–75 %. В перспективе планируется полностью ликвидировать зависимость Дании от нефти, газа и угля. После этого страна, где охране окружающей среды уделяется особое внимание, рассчитывает занять первое место в мире по масштабам использования альтернативных источников энергии.

5.2. Ветроэнергетика в Испании, Франции и Нидерландах

Испанская компания EHN (наиболее крупная в мире группа в области возобновляемых источников энергии) в 1999 г. ввела в эксплуатацию несколько мощных ВЭУ. В двух испанских провинциях (Наварра и Альбасете) на ВЭС производится 22 % потребляемой энергии.

Уже в марте 2010 г. из-за плохой погоды и низкого энергопотребления в течение сравнительно небольшого промежутка времени ВЭУ поставили в электросеть рекордные 40,8 % от общей расходуемой страной электроэнергии (по докладу испанской ассоциации ветроэнергетики («Asociación Empresarial Eólica» — АЕЕ)). Причиной тому сильный ветер, который налетел на полуостров. В это время суммарная мощность, выработанная ветровыми фермами Испании, достигла 9,862 ГВт, что и составило те самые 40,8 % от всей электроэнергии, которая пошла в употребление испанцами. В среднем же в этот период за три дня ВЭУ выработали 28 % энергии, потребленной страной. В результате этого страна сэкономила 250 млн евро на импорте нефтепродуктов и снизила на 1,7 млн т выбросы CO₂. Кстати, Испания, Германия и Дания — три страны ЕС, которые получают максимальное количество энергии от ветра.

Впервые объем выработки энергии из этого источника в Испании сравнился с электричеством, поставляемым гидроэлектростанциями, в 2007 г. Кроме того, надо сказать, что в Испании ветровые фермы понемногу вытесняют АЭС и занимают все новые и новые территории. Так, в июле 2009 года правительство страны одобрило предложение установить ВЭУ на шельфе вдоль протяженного побережья. А к 2020 г. в стране планируется утроить количество энергии, собираемой из возобновляемых источников. Пока же только Наварра — единственная область Испании, которая еще в 2004 г. могла похвастаться 61 % альтернативной энергии. Сделать Наварру нулевой про-

винцией (100 % «зеленой» энергетики) планируют к 2012 г. [29]. Испания является 4-м по объему рынком ветроэнергетики в мире.

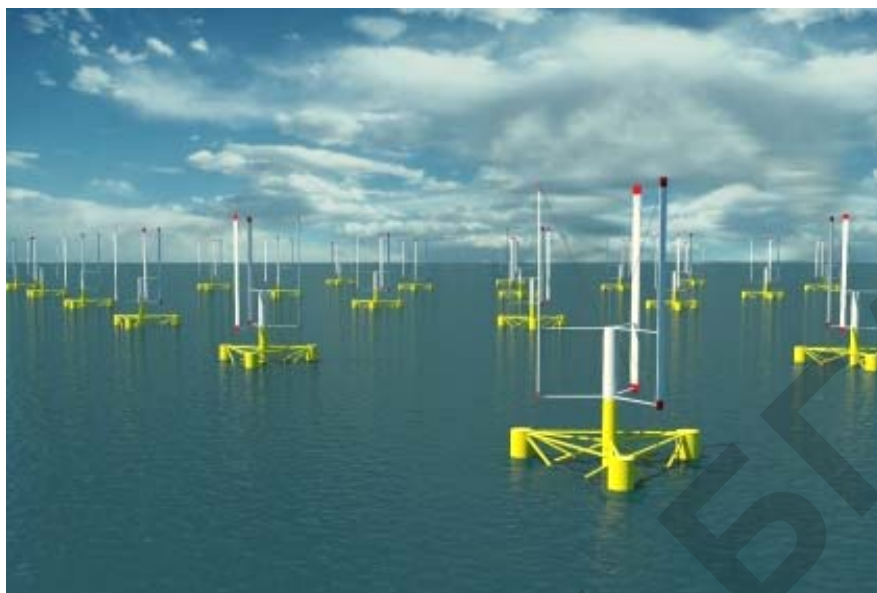


Рис. 5.8. Французские «плавающие» ВЭС

Франция по развитию ветроэнергетики находится на 7 позиции в мире (прилож. 1). В основном направлении использования ВЭУ на первом месте находится разработка проектов для оффшорной зоны страны. Как известно, в открытом океане скорость и сила ветра намного выше, чем в прибрежных районах. Поэтому идея использовать ветровые турбины, установленные на плавающие платформы далеко от берега, кажется привлекательной. На практике установка и обслуживание такой системы оказывается слишком дорогостоящими, чтобы рассматривать ее в качестве альтернативы оффшорным ветровым электростанциям. Однако французские разработчики предложили свое решение проблемы увеличения рентабельности «плавающих» ветровых турбин. Французская инжиниринговая компания⁹ «Technip» и стартаповская компания по ветроэнергетике «Nenuphar» объявили о разработке «Vertiwind», ветровой турбины мощностью в 2 МВт, которую они планируют запустить в плавание в водах Средиземного моря к концу

⁹ Инжиниринговая компания — компания, специализирующаяся на предоставлении инжиниринговых услуг. Такие компании пользуются статусом формально независимых, способны оказывать услуги одновременно в нескольких областях и привлекать к выполнению работ различных поставщиков оборудования, разные подрядные фирмы. Как правило, инжиниринговая компания включает в свой состав несколько крупных предприятий (или холдингов), каждое из которых осуществляет различную функцию: проектирование, строительство, поставка оборудования и его установка, монтажные работы, ведение проекта, технического надзора, инженерное сопровождение инвестиционных проектов, последующие работы (ремонт, сервис, обслуживание и т. д.).

2013 г. Основным отличием новой ветровой турбины является вертикальная установка основного вала ротора, а не горизонтальная, как обычно. Такая конструкция вала позволяет снизить центр тяжести турбины.

Несмотря на то, что высота всей турбины «Vertiwind» составляет 100 м, генератор, который весит 50 т, расположен под вращающимися лопастями всего в 20 м над уровнем моря. Это делает всю конструкцию более устойчивой, следовательно, и платформа, предназначенная для ВЭУ, будет менее массивной. «Technip» и «Nephrag» планируют построить две 2 МВт ветротурбины с вертикальной осью, одна из которых будет расположена в оффшорной зоне, другая — в открытом море, на общую сумму 28 млн дол. Эта цифра значительно превосходит стоимость небольших турбин, закрепленных на морском дне, которые стоят около 5 млн дол./МВт.

Французские компании «Alstom» и «EDF Energies Nouvelles» также заявили о своих намерениях совместно построить морской ветроэнергетический парк. Строительство ВЭС будет осуществляться на средства государственного бюджета Франции. Деятельность этих компаний будет способствовать реализации государственного курса Франции на увеличение к 2020 г. суммарной мощности морских ВЭС до 6 ГВт.

Французские инженеры уже несколько лет разрабатывают проект энергетических островов — плавучих железобетонных платформ шестиугольной формы, на которых будет вырабатываться электроэнергия с помощью солнца, ветра и океанских волн [30]. Предполагается, что каждый остров сможет производить около 250 МВт электроэнергии. 50 тыс. таких островов — полностью смогут удовлетворить мировой спрос на электроэнергию.

Ветряные мельницы — неотъемлемая часть Нидерландского пейзажа. В стране сохранилось около 1000 настоящих мельниц, которые являются «предками» современных ВЭУ. Изначально ветряные мельницы использовались для осушения лугов и полей, и лишь позднее были приспособлены для использования в других сельскохозяйственных работах.

Как и Дания, Нидерланды являются пионером в области оффшорной ветроэнергетики. В начале 1990-х несколько небольших оффшорных ВЭС были введены в эксплуатацию в прибрежных водах Нидерландов. В конце 2006 г. была введена в строй оффшорная ВЭС «Egmond and Zee» мощностью 108 МВт; в 2007 г. закончен еще один проект — ВЭС «QP-7» (мощность 120 МВт). По прогнозам правительства Нидерландов [4] реальный потенциал оффшорной ветроэнергетики страны равняется 6 ГВт, из которых 3–5 ГВт мощностей уже сейчас находятся в стадии серьезного изучения.

Следует также отметить, что непостоянство ветровой энергии, вместе с тем простым фактом, что ночью энергопотребление заметно падает, а днем — растет, подтолкнуло ученых и инженеров ЕС к неожиданной идее. В качестве колоссальных аккумуляторов энергии, способных накапливать электричество от ВЭУ и в целом — стабилизировать расход энергии в сети, могут выступать гигантские склады-холодильники, расположенные по всей Европе. В этой связи группа исследовательских организаций и университетов из Нидерландов, Дании, Испании и Болгарии развивают необычный проект «Ночной ветер» (Night Wind), призывающий к созданию европейской системы хранения энергии, получаемой ВЭС, в огромных складах-холодильниках. Идея довольно проста и, главное, никаких особых изменений в существующих системах не требует. Ночью, когда потребление электричества падает, а ВЭС продолжают работать как обычно, их мощность должна направляться на то, чтобы понизить на 1°C температуру в этих самых холодильниках. Таким образом, энергия запасается в виде холода тысяч и тысяч тонн разнообразных продуктов, спокойно лежащих где-нибудь в Дании, Нидерландах или Франции. Днем же, когда потребление электричества растет, все эти гигантские холодильники можно выключить, позволив температуре постепенно подняться на один градус, то есть вернуться к привычной норме. Это эквивалентно появлению в общей энергосети аккумулятора емкостью в 50 тыс. МВт·ч.

5.3. Ветроэнергетика в Великобритании

В мировом рейтинге стран по развитию ветроэнергетики Великобритания занимала в 2010 г. 8 место (прилож. 1). Великобритания сегодня получает из возобновляемых источников всего 3 % вырабатываемой электроэнергии. Электроэнергия генерируется на около 3 тыс. ВЭУ различной мощности. Суммарная мощность всех действующих в Великобритании ВЭС превышает 5 ГВт. Этого более чем достаточно для покрытия энергетических потребностей частных домохозяйств целой Шотландии.

Государство поддерживает развитие большой и малой (рис. 5.9) ветроэнергетики, поэтому, в первую очередь, разрабатываются государственные программы по исследованию ветровых потенциалов возможных мест установки ветроэнергетических парков. По плану к 2020 г. увеличить производство электроэнергии из возобновляемых источников до 15 %.

Большое внимание в последние годы Великобритания уделяет вопросам строительства ВЭС морского базирования. Так в 2010 г., у юго-восточного

побережья ввели в эксплуатацию крупнейшую в мире морскую ВЭС «Thanet» (рис. 5.10), состоящую из 100 ВЭУ. ВЭС «Thanet» была построена шведской энергетической компанией «Vattenfall». Она установлена в 12 км от береговой линии. Ее мощность составляет 300 МВт, что достаточно для обеспечения электрической энергией 240 тыс. домохозяйств. Каждая ВЭУ имеет высоту 115 м. Расчетный срок службы ВЭС «Thanet» должен превысить 25 лет.

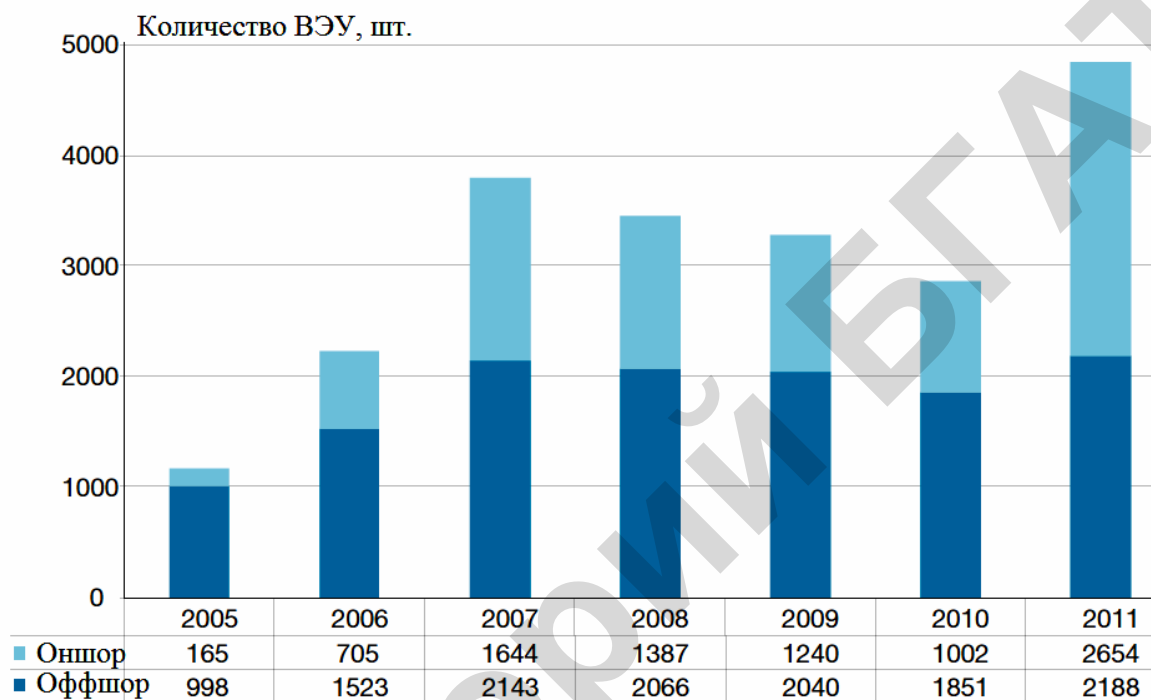


Рис. 5.9. Ежегодный ввод в эксплуатацию малых ВЭС берегового и морского базирования

ВЭС размещена на площади 35 км², ее стоимость составляет £780 млн¹⁰. Ввод в строй указанной ВЭС позволил довести суммарную мощность ветровой энергетики Соединенного Королевства до 5 ГВт, что хватит для обеспечения электроэнергией трех миллионов домов.

По мнению Министерства энергетики Великобритании развитие ветроэнергетики позволит защитить страну от негативных ситуаций на рынках нефти и газа. Кроме того, Британское правительство решило построить у побережья страны несколько оффшорных ветропарков общей мощностью 32 ГВт. В реализации проекта примут участие немецкие концерны (энергетические концерны «RWE» и «E.on», а также электротехнический концерн «Siemens»). Общая стоимость проекта оценивается в 110 млрд евро. Начало строительства запланировано на 2013 г. Проект планируется завершить к 2020 г.

¹⁰ Фунт стерлингов (англ. pound sterling) — денежная единица Великобритании. 1 фунт = 100 пенсов. Символ: £ (лат. Libra — фунт), банковский код: GBP (Great Britain Pounds).

Компания «RWE Innogy» будет участвовать в возведении крупнейшего ветропарка мощностью 9 ГВт на отмели Доггербанк в Северном море, сообщило агентство «GLP» [31]. Кроме того, «RWE» является одним из подрядчиков проекта в Бристольском заливе, где планируется установить ВЭС мощностью 1,5 ГВт. Инвестиции в эти два проекта составят порядка 12 млрд евро.



Рис. 5.10. Крупнейшая в мире морская ВЭС «Thanet»

В свою очередь, концерн «Siemens» в составе консорциума «Smart Wind» займется строительством ветропарка «Hornsea» мощностью 4 ГВт в Северном море у восточного побережья страны. Британский Департамент энергетики и изменений климата (DECC) оповестил о принятии полного набора тарифов на энергию ВИЭ, который вступил в силу с апреля 2010 г. Таким образом, Великобритания стала первой страной в мире, включившей в этот набор тарифы на тепло от ВИЭ, включая тарифы на горячее водоснабжение от солнца в домах, подземные тепловые насосы. Также, опережая другие страны, предлагается тариф на закачиваемый в системы газопроводов

биогаз. В отличие от многих других стран, например, Германии, являющейся во многом законодателем в развитии систем поддержки ВИЭ на основе фиксированных тарифов, Великобритания включила в условия применения тарифов ежегодную их поправку на инфляцию.

Британские тарифы на энергию ВЭС сконструированы таким образом, чтобы поддержать, главным образом местных производителей малых ВЭУ. Тем не менее, действующие тарифы на энергию ветра способны заинтересовать также и производителей средних ВЭУ, таких как «Enercon».

Северное море уже является «домом» крупнейшей в мире оффшорной ВЭС, но теперь, похоже, оно собирается получить статус самого «зеленого» моря в мире: десять стран Европейского союза подписали меморандум о развитии международной оффшорной энергетической сети [32].

Под меморандумом поставили подписи представители стран Бельгии, Дании, Франции, Германии, Ирландии, Люксембурга, Нидерландов, Норвегии, Швеции, а Объединенное Королевство Великобритании обязывается объединить все расположенные в Северном море возобновляемые источники энергии ветра в единую сеть. Энергосеть, которая, как ожидается, будет полностью введена в эксплуатацию в 2020 г., позволит странам ЕС обмениваться возобновляемой электроэнергией на всем континенте, а также на Британских островах. При этом, центром возобновляемой энергосети станет Шотландия, чей опыт создания оффшорных сетей окажется незаменимым в этом трудном и новом деле.

Международная оффшорная энергосеть в Северном море (рис. 5.11) не только позволит Шотландии экспортировать большие объемы возобновляемых источников энергии для использования в остальной Европе, но поможет модернизировать энергоресурсы европейского континента, а также сократить выбросы углекислого газа в атмосферу.

В Великобритании инженеры, ученые и энтузиасты занимаются также «экзотическими» ВЭУ (рис. 5.12). Задаваясь вопросом, — почему мы до сих пор останавливались на одной из форм использования возобновляемых источников энергии, когда, как оказалось, можно генерировать электричество сразу от двух? Именно это продемонстрировали ученые из ливерпульского университета, Великобритания, модернизовав традиционную ветровую турбину комплектом «солнечных» лезвий [33]. Группа ученых под руководством доктора Джо Кинга придумали инновационное решение, которое опровергает слова критиков, которые говорят, что ветровые турбины «полезны только тогда, когда дует ветер». Идея использования фотоэлектрических технологий для увеличения функциональности ВЭУ довольно привлекательна.

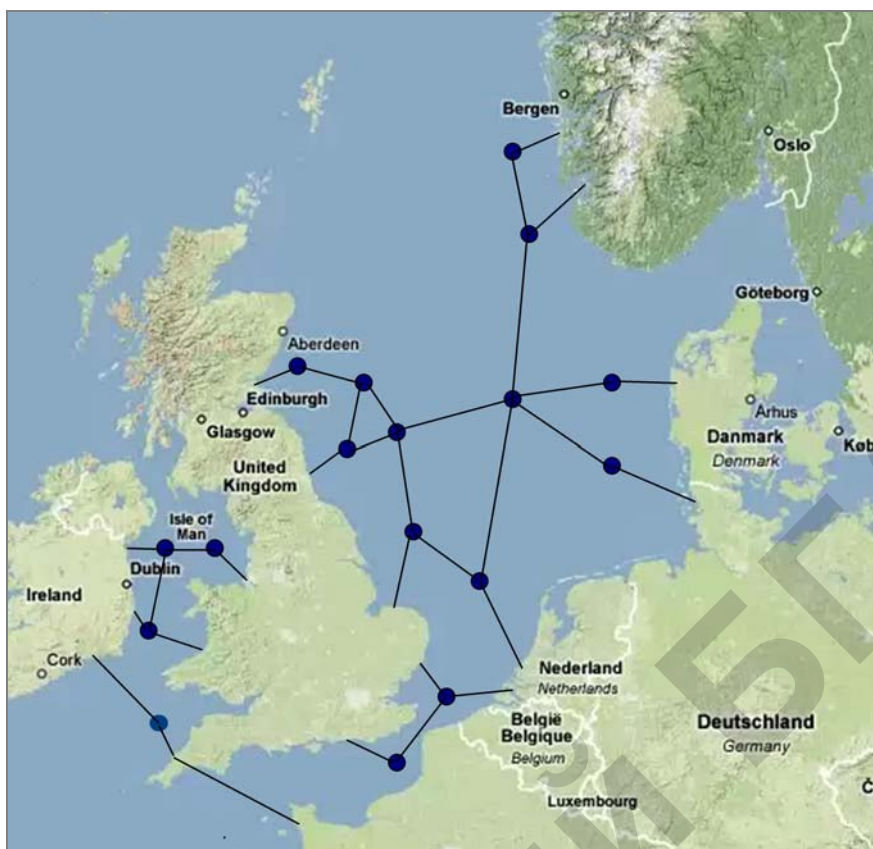


Рис. 5.11. Оффшорная сеть ВЭС



Рис. 5.12. «Солнечные» ВЭУ

Однако ученые столкнулись с некоторыми проблемами. Раннее компьютерное моделирование показало, что смонтированные на турбине солнечные панели при вращении могут вызывать концентрированные пучки света, которые будут «стрелять» по всей окрестности. Таким образом, существует потенциальная опасность временного «ослепления» пилотов пролетающих мимо самолетов, а также и тех, кто проживает в близлежащих районах. Кроме того, существует реальная угроза возникновения пожаров от «смертельных»

концентрированных солнечных лучей. Для того чтобы «солнечные» ВЭУ не стали причиной авиакатастроф и пожаров, группа ученых разработала специальные «тонируемые» солнечные панели, которые не отражают солнечные лучи. В настоящее время ученые находятся в поиске места для установки их прототипа турбины. Первым кандидатом в качестве приемлемого региона является Ирландия, с ее сильными ветрами и солнечным жарким летом. Как ожидается, турбина под названием «Heat Waver» будет установлена для тестирования в летние месяцы.

5.4. Ветроэнергетика в Германии

Производство электроэнергии на ВЭУ в 2006 г. составляло 6 % в общем балансе потребности, а уже в 2010 г. Германия обеспечивала за счет ветроэнергетики 9 % от общей выработки электроэнергии в стране.

Динамика развития ветроэнергетики Германии в период до 2005 г. приведена на рис. 5.13, когда она представляла бесспорное лидерство в мире.

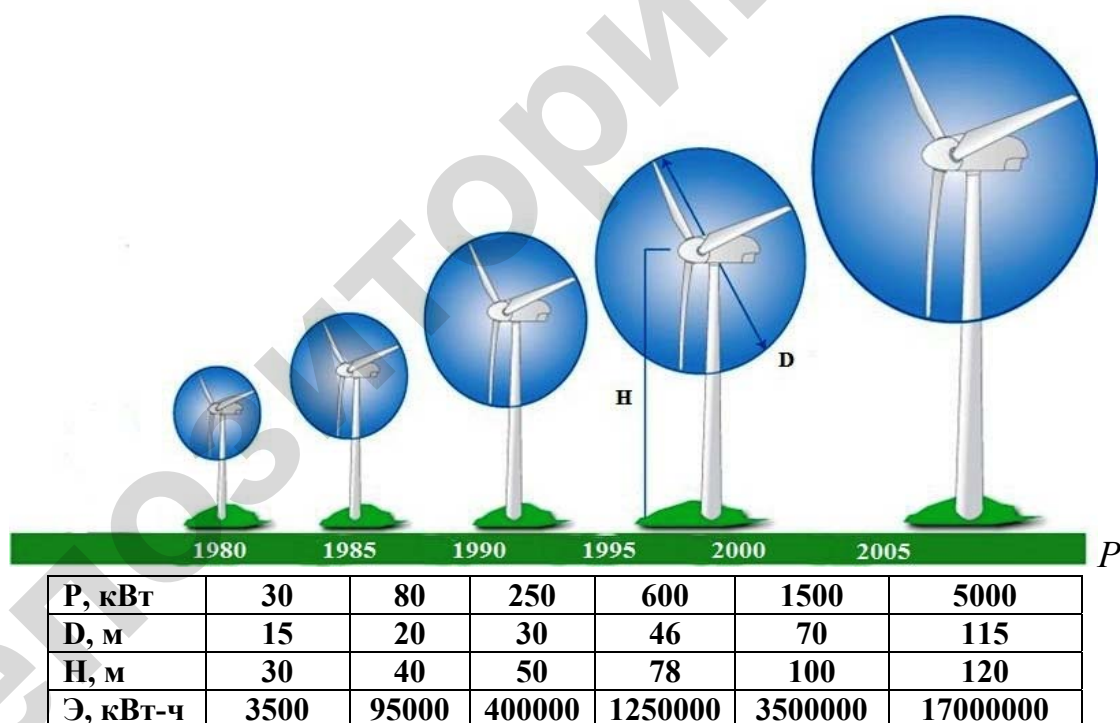


Рис. 5.13. Динамика развития ВЭУ в Германии
(количество выработанной электроэнергии указано округленно)

Германия — один из мировых лидеров ветряной энергетики, которая до 2008 г. занимала первое место по объемам установленных мощностей ВЭС. Первая правительственная программа поддержки ветроэнергетики под названием «100 МВт ветра» появилась в Германии в 1989 г. Ощутимый

рост ветроэнергетики начался с принятием в 1991 г. закона «Electricity Grid Feed Act». В табл. 5.3 показана динамика развития ветроэнергетики Германии после принятия этого закона.

Таблица 5.3

Рост мощностей ВЭС Германии, МВт

Год	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
МВт	11994	14609	16629	18415	20622	22247	23902	25777	27214

В 2006 г. ветроэнергетика Германии произвела 30,5 млрд кВт·ч электроэнергии. Для сравнения: в том же году вся гидроэнергетика Германии произвела 21,6 млрд кВт·ч электроэнергии, что составляет 3,5 % от всего потребления электричества в Германии.

В 2008 г. введено в работу 866 ВЭУ суммарной мощностью 1665 МВт. В 2008 г. в Германии работали 20 301 ветряных турбин суммарной мощностью 23 902,77 МВт. Крупнейшие поставщики ВЭУ на рынок Германии в 2008 г. приведены на рис. 5.14 и в табл. 5.4.

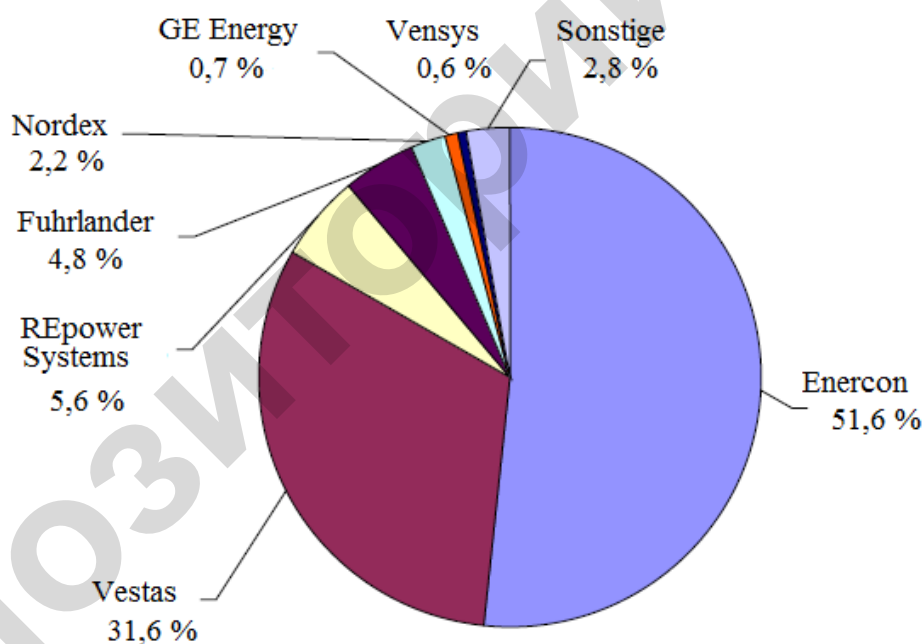


Рис. 5.14. Распределение поставок ВЭУ между фирмами на рынок Германии в 2008 г. при базовой установленной мощности в указанный период равной 1665 МВт [40]

В 2007 г. сетевые компании платили владельцам ВЭС 0,0836 евро/кВт·ч электроэнергии в первые 5 лет эксплуатации. Тариф ежегодно снижается на 2 %. В Германии активно идет процесс, получивший название «repowering» — старые ВЭУ заменяются на более мощные и менее шумные. По прогнозам с помощью этого обновления производство электроэнергии на ВЭС может быть увеличено до 90 млрд кВт·ч.

Крупнейшие фирмы-производители ВЭУ

Название фирмы	Страна	Доля, %
Enercon	Германия	51,6
Vestas	Дания	31,6
REpower Systems	Германия	5,6
Fuhlander	Германия	4,8
Sonstige	Германия	2,8
Nordex AG	Германия	2,2
Vensys	Германия	0,6
GE Energy	США	0,7
Всего (1665 МВт)		100

Ветровая энергетика Германии выросла на 15 % в 2009 г. Установлены 952 ВЭУ, общее количество которых достигло 21 163 единиц, а мощность — 26 тыс. МВт. Крупнейший вклад в рост индустрии внесла открытая в 2009 г. первая в Германии ВЭС, находящаяся в море.

Две трети произведенных немецких ВЭУ идут на экспорт, в первую очередь, в США, Великобританию и Испанию. Перспективными рынками сбыта считаются Китай и страны Восточной Европы, в том числе и Россия, несмотря на то, что в России само понятие альтернативные источники энергии (из-за обилия газа и нефти) пока экзотика. Германия знает, как использовать энергию ветра. По всей стране разбросано более 17 тыс. ВЭУ (см. прилож. 7).

«Enercon GmbH» — один из крупнейших в мире производителей ВЭУ и крупнейший производитель ветрогенераторов в Германии. Компания основана в 1984 г., в то же году началась разработка турбины мощностью 55 кВт. В 1986 г. была построена первая ветряная электростанция с 10 турбинами «ENERCON» мощностью по 55 кВт. В 2002 г. построена ВЭУ «Enercon E-112» мощностью 4,5 МВт. В 2005 г. продолжается разработка ВЭУ мощностью 6,0 МВт. «E-126» — первая ВЭУ с номинальной мощностью 6 МВт. Диаметр ее ротора 126 м, а высота башни 135 м. Два таких гиганта были построены для испытаний вблизи Эмдена, на северо-западе Германии. Каждая турбина способна производить ежегодно порядка 18 млрд кВт·ч электроэнергии. Этого более чем достаточно для снабжения 4 500 домов.

Производственные площади компании сегодня выросли до 370 тыс. м². К началу 2009 г. компания «Enercon» установила более 13 тыс. ВЭУ в 30 странах мира. Их суммарная мощность более 15 ГВт. Компания «Enercon» разработала эффективную систему управления ВЭУ в электросети (рис. 5.15). Заводы компании расположены в Германии, Швеции, Бразилии, Индии, Турции и Португалии.

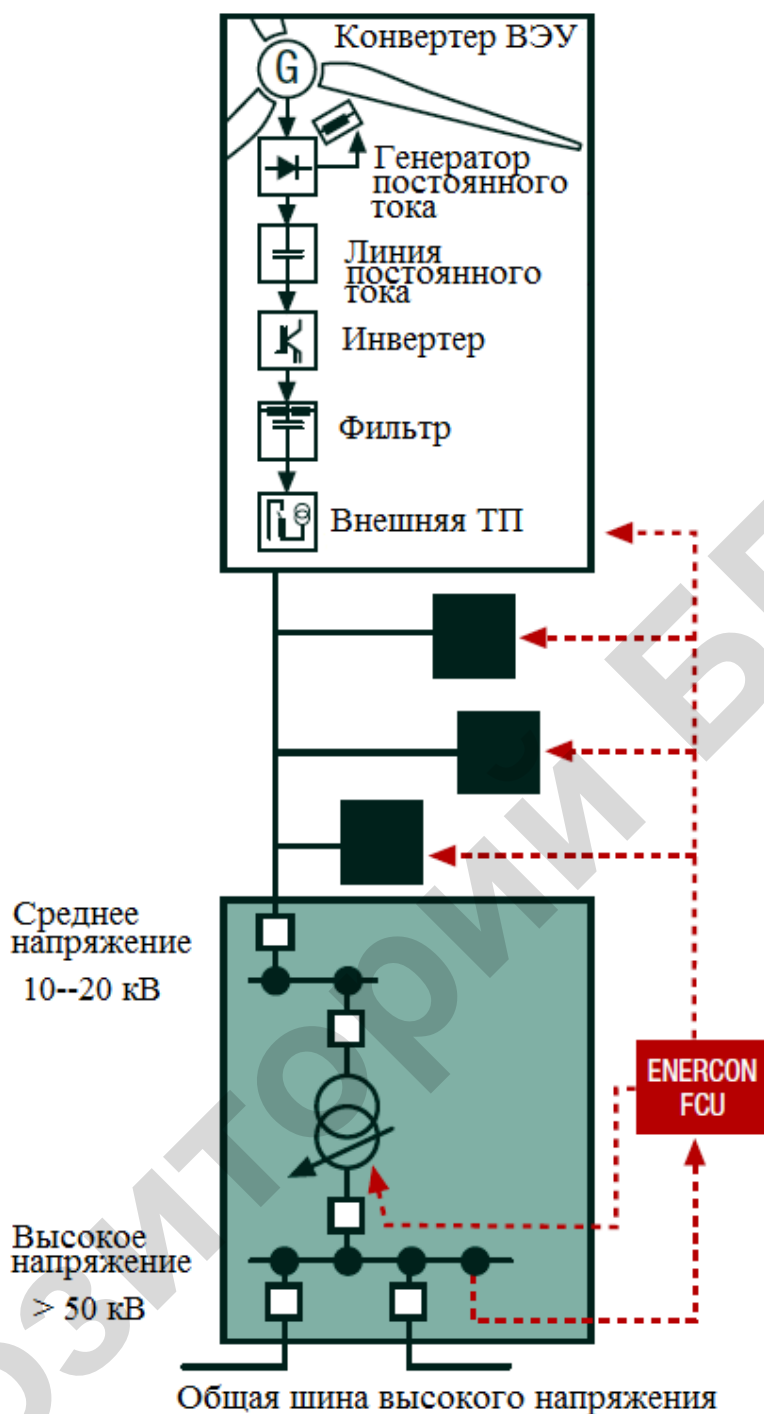


Рис. 5.15. Система контроля и управления ветрофермами «Farm Control Unit (FCU)» для системы управления ВЭС «Enercon SCADA»

«RePower System AG» — один из крупнейших производителей ветрогенераторов, который, по данным Германского института ветряной энергетики (DEWI), в 2006 г. занимал третье место среди производителей ветрогенераторов в Германии. Рыночная доля «RePower» в Германии — более 10 %, причем около 70 % его продукции экспортирует. Он единственный в мире производитель ветрогенераторов мощностью 5 МВт. В 2006 г. «RePower» произвела ветрогенераторы суммарной мощностью 2 233 МВт;

основными рынками сбыта в 2006 г. стали: Германия — продано 27,8 % продукции, США и Испания — по 15,6 %, Индия — 8,4 %. В третьем квартале 2008 г. портфель заказов компании состоял из 683 турбин суммарной мощностью 1 434 МВт.

Немецкая фирма «Fuhrlaender» создала самую большую в мире ВЭУ [42]. Эффективность этой установки (мощностью 2,5 МВт) с изменяемой скоростью вращения обусловлена возможностью выбора ветроколеса различных диаметров: 80, 90 или 100 м. Большая высота мачты позволяет устанавливать турбину даже в лесистой местности (табл. 5.5). Благодаря новаторским техническим решениям, таким как большой роликовый подшипник, специальная муфта и компактная трансмиссия, увеличились срок службы и безопасность турбины. Для генератора разработано принципиально новое закрытое операционное помещение. Заложенные в конструкцию функции подъемника, делают ненужным использование дорогих автокранов при замене основных узлов турбины.

Таблица 5.5

Основные характеристики ВЭУ фирмы «Fuhrlaender» мощностью 2,5 МВт

Диаметр ветроколеса, м	Конструкция башни установки	
	Трубчатая	Ажурная
	Высота башни, м	
80	65, 85	—
90	85, 100	117, 141, 160
100	85, 100	117, 141, 160

Однако с 2006 г. крупнейшими производителями оборудования для ветряной энергетики в Германии являются компании «Enerson» и «Vestas».

Несмотря на успехи в области наземной ветроэнергетики, развитие оффшорного сектора идет в стране медленными темпами. Одна из причин, объясняющая такую ситуацию, относительно небольшая территория, пригодная для развития оффшорной ветроэнергетики — короткая береговая линия Германии. Оффшорные ВЭУ должны быть глубоководными и устанавливаться далеко от береговой линии, практически в открытом море. Такой подход обусловлен действующим в стране экологическим законодательством, защищающим прибрежные воды. В результате достижения оффшорной ветроэнергетики Германии носят скорее производственно-технологический, а не практический характер.

В 2006 г. правительство Германии приняло закон, согласно которому затраты по подсоединению оффшорных ВЭС к энергосети возложены на сетевых

операторов. Подобная практика применяется ко всем другим источникам энергии. Такое нововведение очень существенно, так как порядка 30 % стоимости оффшорной ВЭС составляют как раз затраты по подключению к сети.

Таким образом, значительно повысилась инвестиционная привлекательность немецкой оффшорной ветроэнергетики. Благодаря этому ожидается, что к 2012 г. мощность оффшорной ветроэнергетической отрасли возрастет до 3 ГВт.

Первая в Германии оффшорная ВЭУ установлена в марте 2006 г. Турбина установлена компанией «Nordex AG» в 500 м от берега. Турбина мощностью 2,5 МВт с диаметром лопастей 90 м установлена на участке моря глубиной 2 м. Диаметр фундамента 18 м. В фундамент уложено 550 т песка, 500 т бетона и 100 т стали. Конструкцию общей высотой 125 м устанавливали с двух понтонов площадью 1750 и 900 м².

К 2030 г. Германия планирует построить в Балтийском и Северном морях не менее тридцати оффшорных ВЭС общей мощностью 25 ГВт.

Примечательно, что еще в 2007 г. Министерство энергетики Германии утверждало, что ВЭС слишком дороги и неэффективны. Ведомство считало, что гораздо разумнее пускать средства на повышение эффективности использования электроэнергии, что поможет сократить объемы выбросов углекислого газа в атмосферу. Кроме того, чиновники заявляли, что сократить выброс парниковых газов можно иным способом, оснастив существующие электростанции, работающие на органическом топливе, современными фильтрами. По их словам, результат был бы равнозначным, а затраты — существенно меньше. Однако теперь Министерство энергетики изменило свое мнение и ратует за строительство новых ВЭС.

В 2010 г. начал свою работу первый немецкий морской ветропарк «Alpha Ventus». Последняя ВЭУ была установлена примерно в 40 км севернее острова Боркум. Общий размер инвестиций составил 250 млн евро. Было возведено 12 ВЭУ мощностью 5 МВт каждая [41].

Однако строительство ВЭС на воде обходится очень дорого, поэтому оно окупается лишь в том случае, если ветропарк вырабатывает достаточное количество энергии. При этом установленная мощность оффшорной ВЭС не должна быть менее 25–30 ГВт. А это суммарная мощность 30–40 современных АЭС или угольных электростанций. В самое ближайшее время будет запущена в серийное производство установка мощностью 6 МВт; завершается разработка ВЭУ мощностью от 6,5 до 10 МВт. А конструкторы уже обсуждают проект создания установки мощностью 15 МВт. Этот рост мощ-

ности должен быть достигнут, прежде всего, за счет увеличения высоты башни и диаметра ветроколеса уже привычной горизонтально-осевой трехлопастной пропеллерной ветроэнергетической установки. Самая исполинская из них будет оборудована ротором, лопасти которого размерами превосходят Кельнский собор.

Германия за счет развития ветроэнергетики предполагает закрыть все свои 18 АЭС по мере выработки ими своего ресурса и, уже приступила к реализации этого плана.

5.5. Ветроэнергетика в Словакии, Чехии, Польше и Прибалтике

По данным на 2010 г., установленная мощность ВЭУ в Словакии составляла 6 МВт (61-е место в мире). Ветровой потенциал относительно невелик и составляет 3 % потенциала возобновляемых источников энергии. В это время установленная мощность ВЭУ в Чехии составляла около 215 МВт (33-е место в мире). Ветровой потенциал, как и в Словакии, относительно невелик и составляет также 3 % потенциала возобновляемых источников энергии (см. прилож. 1).

На 2010 г., установленная мощность ВЭУ в Польше составляла 1 107 МВт (19-е место в мире). Собственные компании «NOWOMAG» и «КОМАГ» производят небольшие ВЭУ мощностью до 160 кВт и готовят выпуск ВЭУ мощностью 1 МВт. Средняя скорость ветра на высоте 50 м — около 6–7 м/с. В 2010 г. заработали две новые ВЭС, в состав которых входит 31 ВЭУ. Их мощности хватит для обеспечения электроэнергией 60 тыс. частных домов. Эксплуатация новых ВЭС позволит уменьшить выбросы CO₂ на 125 тыс. т ежегодно. ВЭС спроектированы компанией «RWE».

Польша является уникальной страной, поскольку из-за своего географического положения значительные территории этого государства обладают высоким ветровым потенциалом. Кроме того, постоянно растущие потребности в электроэнергии при ограниченных финансовых возможностях делают сооружение ВЭС особенно предпочтительным.

Начиная с 2009 г., в странах Балтии также наблюдается устойчивый рост ветроэнергетики. Сейчас доля используемых в Эстонии возобновляемых источников энергии не достигает 1 %, в Литве этот показатель — 4 %, в Латвии — более 40 % [6].

По данным на 2010 г. (прилож. 1), установленная мощность ВЭУ в Литве составляла 154 МВт (36-е место в мире). Литва обладает высоким ветровым потенциалом. Площадки со скоростью ветра 5–5,5 м/с и выше при-

легают к Балтийскому побережью (районы Паланги, Клайпеды, Куршская коса и другие западные районы, что составляет 10 %).

Правительство Литвы выразило намерение максимально использовать местные возобновляемые источники энергии с целью уменьшения зависимости от импорта энергоносителей. Национальная программа развития ветроэнергетики предполагает установить к 2011 г. ВЭС общей мощностью 170 МВт.

Дочернее предприятие российского энергетического монополиста «Интер РАО ЕЭС» в Литве — «Energijos realizacijos centras» (ERC), являющееся крупнейшим независимым поставщиком электроэнергии в Литве, рассматривает в настоящее время возможность инвестировать средства в строительство парка ВЭС мощностью 55 МВт. Инвестиции в ветропарк составят, по подсчетам специалистов, около 160 млн дол. Для крупнейшего в стране парка ВЭС планируется использовать пустующие государственные угодья на северо-востоке Литвы, в Аникшяйском районе.

В 2010 г. Эстония переместилась на 37 место в рейтинге ведущих ветроэнергетических стран мира и вплотную приблизилась к Литве, имея установленную мощность ВЭУ равную 149 МВт. Основные объемы электроэнергии в Эстонии производятся на тепловых электростанциях, где частично используются и древесные отходы, чтобы увеличить общий объем восстанавливаемой («зеленой энергии»). Ее доля к 2020 году должна составлять 25 %. Эстония в ближайшее время планирует принять закон о выделении акваторий для строительства ветропарков, который откроет неплохие перспективы для строительства парков ВЭС на море.

1 июня 2011 г. начато возведение первого парка ветрогенераторов в Нарве (северо-восточная Эстония). На закрытом золоотвале, использованного при производстве сланца, будет установлено 17 ВЭУ фирмы Enercon E82, каждый мощностью 2,3 МВт. Совокупная мощность ВЭС составит 39 МВт, а годовая выработка электроэнергии — порядка 90 ГВт·ч. Это позволит обеспечить электроэнергией почти 35 тыс. семей со средним уровнем электропотребления. Введение объекта в эксплуатацию запланировано на 2012 г.

Европейский банк реконструкции и развития инвестирует около 19 млн евро в компанию «Freenergy», занимающую лидирующие позиции в Эстонии по выработке ветровой энергии. Деньги пойдут на развитие 15 ВЭС, 11 из которых находятся в Эстонии, 3 в Литве и 1 в Латвии. Планируется, что общая мощность 15 ВЭС составит 330 МВт.

На сегодня мощнейшим в прибалтийских странах является ветропарк «Eesti Energia» в Аулепа (Западная Эстония) — 48 МВт. Планируется строительство новых ветропарков в волости Вайвара, Палдиски и морских ветропарков в Рижском заливе [7].

В Риге, начиная с 2011 г., строится завод по производству башен для ВЭУ. 14 га территории частного порта в Риге отданы под строительство этого завода. Проект, не имеющий аналогов в странах Балтии, осуществляет латвийская компания «Global Steel Service». Планируется, что завод выйдет на полную мощность в течение 7 лет с момента запуска, общий объем инвестиций в проект составляет 243 млн евро.

Учитывая общую тенденцию развития экологически чистых технологий, у ветроэнергетики большие перспективы. Латвия по количеству установленных ВЭС отстает от Литвы и Эстонии. Однако понимание необходимости развития ветроэнергетики в Латвии есть: в стране проводятся тематические конференции, форумы, семинары, выставки. На форуме «Ветроэнергетика в Латвии: планирование, политика, возможности», состоявшемся 28 апреля 2011 г., было констатировано, что государство работает над единым планом по достижению 40 % возобновляемых источников энергии к 2020 г.

Раздел 6.

РАЗВИТИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СНГ

Ветроэнергетика в странах Восточной Европы находится на начальной стадии развития. Причина отставания связана с мифом: «Ветроэнергетика дорога и неконкурентоспособна. Районы со среднегодовой скоростью ветра менее 5 м/с малопригодны для размещения ВЭС».

Таким образом, от ветроэнергетики отлучались страны «с низким ветровым потенциалом»: страны Балтийско-Черноморского региона, к которым относится и Беларусь.

За последнее десятилетие 1 кВт·ч вырабатываемой на ВЭС электроэнергии подешевел, как минимум, в 2 раза. При расположении ВЭС на площадках с хорошим ветровым режимом производимая ими электроэнергия, как указывалось ранее, оказывается дешевле, чем энергия угольных, газовых и атомных станций.

6.1. Ветроэнергетика в России

Россия обладает мощным ветроэнергетическим потенциалом, оцениваемым в 40 млрд кВт·ч электроэнергии в год, поэтому работа больших и малых ВЭС на огромных российских пространствах могла бы быть высокоэффективна. Такие районы, как Обская губа, Кольский полуостров, большая часть прибрежной полосы Дальнего Востока, по мировой классификации относятся к самым ветреным зонам. Среднегодовая скорость ветра на высоте 50–80 м составляет 11–12 м/с [43]. Несмотря на благоприятные природные условия в России до сих пор нет ни огромных ветропарков, ни единичных ВЭС вокруг сельских поселков и дачных участков.

История ветроэнергетики России берет начало в 30-х гг. прошлого века: в 1929 г. в Курске начала работать первая в мире ВЭС мощностью 8 кВт, а еще через два года была построена станция мощностью 100 кВт для снабжения энергией Севастополя. «Расцвет» ветроэнергетической индустрии пришелся

на 50-е г. XX века, когда в СССР производили по 9 тыс. ВЭУ в год. Однако в дальнейшем быстрое развитие гидроэнергетики и нефтедобычи привело к тому, что ветроэнергетические программы были остановлены.

На сегодняшний день Россия отстает от других стран, как по установленным ветроэнергетическим мощностям, так и по темпам роста отрасли. Россия по рейтингу среди производителей ветровой энергии занимает 56-е место (прилож. 1). Внедрение новых ветроэнергетических мощностей происходит в России достаточно медленными темпами: в среднем темпы прироста составляют 8 % в год, это один из самых низких показателей в мире (в Китае он составляет ~ 60 %, США ~ 30 %, Испании ~ 20 %).

В России построена Крюковская ВЭС мощностью 5,1 МВт (20 агрегатов по 225 кВт и один агрегат 600 кВт, г. Калининград), Анадырская ВЭС мощностью 2,5 МВт (10 агрегатов по 250 кВт, Чукотка) и строится Элистинская ВЭС мощностью 22 МВт (22 агрегата по 1 МВт, Калмыкия).

В России промышленное производство ВЭУ отсутствует; закон о возобновляемых источниках энергии до сих пор не принят.

Энергетические ветровые зоны в нашей стране расположены, в основном, на побережье и островах Северного Ледовитого океана от Кольского полуострова до Камчатки, в районах Нижней и Средней Волги и Каспийского моря, на побережье Охотского, Баренцева, Балтийского, Черного и Азовского морей. Отдельные ветровые зоны расположены в Карелии, на Алтае, в Туве, на Байкале (рис. 6.1).

По оценкам экспертов [43, 44], валовой ветровой потенциал России составляет $8 \cdot 10^{16}$ кВт·ч/год, технический ветровой потенциал — $6,2 \cdot 10^{15}$ кВт·ч/год, экономический ветровой потенциал — $4 \cdot 10^{10}$ кВт·ч/год, что в 6 раз превышает все современное производство электроэнергии в стране. Ветер сегодня является крупнейшим источником «зеленой» энергии. На 2011 г. в России установленная мощность ВЭС составляет 15,4 МВт (прилож. 1), что в сумме составляет примерно 0,007 % от всех электрогенерирующих мощностей РФ. Проектируемые ВЭС: Ленинградская (75 МВт), Балтийская (50 МВт) смогли бы повысить вклад в общую электрическую мощность России примерно до 0,07 %.

70 % территории России, где проживает 10 % населения, находятся в зонах децентрализованного энергоснабжения, которые практически совпадают с зонами потенциально реализуемого ветропотенциала (Камчатка, Магаданская область, Чукотка, Сахалин, Якутия, Бурятия, Таймыр и др.). Это делает целесообразным использование ВЭУ для обеспечения электроэнергией автономных потребителей.

В настоящее время построены и действуют на немецком и датском оборудовании Маркинская ВЭС (АО «Ростовэнерго»), ВЭС на о. Беринга (АО «Камчатэнерго») и Куликовская ВЭС (АО «Янтарьэнерго») и другие (табл. 6.1), а также строятся ВЭС (см. табл. 6.2).

Таблица 6.1

Установленные мощности российских ВЭС в 2009 г.

Название	Мощность, МВт
Воркутинская ВЭС	1,5
Калмыцкая ВЭС	1
Маркинская ВЭС	0,3
Куликовская ВЭС	5,4
ВЭС на о. Беринга	1,2
Башкирская ВЭС	2,2
Анадырская ВЭС	2,5
До 1500 малых ВЭУ мощностью 0,1-30 кВт	0,5
ИТОГО	14,6

Куликовская ВЭС. Первый агрегат пущен в мае 1998 г., последний — в июне 2002 г. Затраты на сооружение: по оборудованию — 924 дол./кВт·ч, по капвложениям — 2 158 дол./кВт·ч. За период с 1 сентября 1999 г. по 1 сентября 2002 г. ВЭС выработала 6 058,8 тыс. кВт·ч электроэнергии. Анадырская ВЭС (Чукотский АО). Сроки проектирования и строительства: январь 2001 — октябрь 2002 гг. Пуск на полную мощность — июль 2003 г. Мощность ВЭС — 2,5 МВт. Установлено 10 ВЭУ типа АВЭ-250 отечественного производства для северных условий. Среднегодовая скорость ветра — 6,5 м/с, максимальная — 52 м/с. За период с 1 июля 2003 г. по 1 апреля 2004 г. выработано 2 370,68 кВт·ч электроэнергии. Подтверждена работоспособность ВЭУ при скоростях ветра от 4,8 м/с до 30 м/с и при температурах до -42°C , при параллельной работе ВЭС (70 % мощности) и ДВС (30 % мощности).

Для традиционных в России энергоисточников на жидком углеводородном топливе (мазут, дизтопливо) при сегодняшних ценах и при существующих тарифах на электроэнергию вновь строящиеся ТЭС не окупаются. Таким образом, отечественная ветроэнергетика на базе современных технологий могла бы обеспечить сбережение ценного углеводородного топлива для будущих поколений и существенную (до 5 % в масштабах России) его экономию для высоко прибыльного экспорта.

С учетом ветроэнергетических традиций бывшего СССР (более 100 МВт суммарной установленной мощности ВЭС в 1950-х гг.) и огромных запасов ветроэнергетических ресурсов, Россия сегодня ведет себя в отношении национальной ветроэнергетики, по мнению зарубежных специалистов, менеджмента и производителей ВЭУ, необъяснимо осторожно и стратегически недальновидно. В настоящее время уже наметилось снижение интереса мировых производителей к России как к потенциальному рынку сбыта ВЭУ.

Таблица 6.2

ВЭС (ВДЭС)¹¹, проектируемые и строящиеся в России [44]

Название ВЭС	Район	Мощность, МВт
Калмыцкая	Республика Калмыкия	22
Приморская	Приморский край	30
Чуйская	Республика Алтай	24
Магаданская	Магаданская область	30
Анапская	Краснодарский край	5
Новороссийская	Краснодарский край	5
Морская	Республика Карелия	30
Ленинградская	Ленинградская область	75
Валаамская	Республика Карелия	4
Новиковская ВДЭС	Республика Коми	10
Усть-Камчатская ВДЭС	Камчатская область	16
Заполярная ВДЭС	Республика Коми	3
Калининградская ВЭС морского базирования	Калининградская область	50
ИТОГО		304

Тормозом развития, внедрения и широкомасштабного использования ветроэнергетики в России является целый ряд причин. Основная из них — отсутствие государственной позиции и, как следствие, неопределенность государственных целей и приоритетов.

Однако движение в сфере строительства ВЭУ уже началось. Планируется реализовать проект в Мурманской области. Голландская фирма «Windlife Energy» уже договорилась с местной администрацией о выделении ей земельного участка под строительство первого на Кольском полуострове ветропарка мощностью 200 МВт. Как ожидается, он будет функционировать к концу 2013 г. [44].

¹¹ВДЭС — ветродизельная электростанция.

Согласно исследованиям компании «Abercade», оцениваемый объем выпуска ВЭУ в натуральном выражении по итогам 2009 года вырос на 18 % и составил порядка 200 штук, в стоимостном выражении — около 540 тыс. дол.

К основным производителям ВЭУ различных типов и установленных мощностей можно отнести следующие фирмы: ООО «Ветро Свет», ООО «СКБ Искра», ООО «ГРЦ-Вертикаль», ООО «Сапсан-Энергия», ЗАО «Ветроэнергетическая компания», «ЛМВ Ветроэнергетика», ЗАО «Агрегат-Привод», НПП «Энерго-Экологические Системы», «Возобновляемые источники энергии Rkraft», ООО «ЕвроСтандартСервис», ООО «Стройинжсервис» (рис. 6.2, 6.3).



Рис. 6.2. Монтаж ВЭУ мощностью 20 кВт

В крупных энергосетях неравномерная подача энергии, присущая всем ВЭУ, уравнивается их большим количеством. Автономные сети мощностью 0,5–4 МВт тоже могут функционировать надежно, несмотря на неравномерность поступления энергии от ВЭС, если они работают в паре с дизелем. Для систем «ветро-дизель» европейские компании разработали компьютеризированное устройство, распределяющее нагрузку между ветроэнергетической установкой и дизелем (прилож. 3). Уже есть оборудование, позволяющее всего за две секунды отключить дизель или вновь включить его в работу. Благодаря этому увеличивается ресурс дизелей и экономится

до 67 % топлива в год. Проекты ВЭС, работающих на сеть, для условий, например, очень ветреного Приморья окупаются за 5–7 лет, системы «ветродизель» — за 2 года.

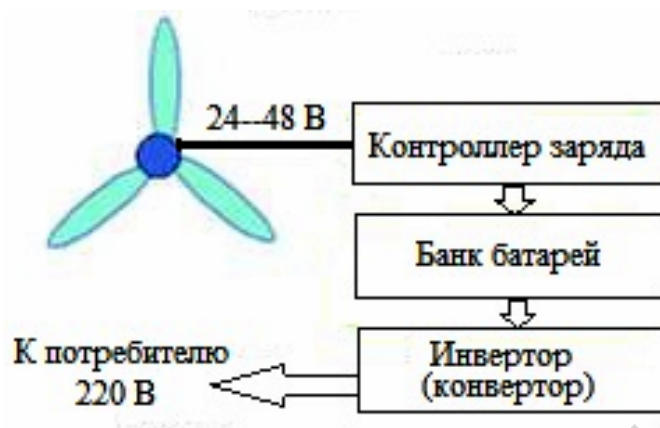


Рис. 6.3. Схема работы бытовой ВЭС с буферными батареями

Что же касается долгосрочных перспектив развития малой энергетики в России, то оно возможно только при активной поддержке со стороны законодательной власти. Если будут выделены государственные дотации, то в развитии малой энергетики начнется настоящий бум, поскольку имеется большой и достаточно изученный потенциал.

6.2. Ветроэнергетика в Украине

По данным на 2010 г., установленная мощность ВЭУ 87,4 МВт, темп роста установленной мощности ВЭС, что соответствует 40-му месту в мировом рейтинге стран (прилож. 1).

Ветровой потенциал Украины достаточно велик. Перспективные площадки для размещения ВЭУ (скорости ветра более 6 м/с) прилегают к Черному и Азовскому морям, а также находятся в Прикарпатье и Закарпатье, на Донецкой возвышенности. Национальная программа развития ветроэнергетики определила более 40 % территории страны для строительства ВЭС.

Днепропетровская фирма «Энергетические системы и оборудование» (Украина) разработала ряд ВЭУ мощностью от 20 до 420 кВт (рис. 6.4). Выбранная вертикально-осевая схема, принцип работы которой основан на использовании подъемной силы прямых лопастей, вращающихся вокруг вертикальной оси, является альтернативой традиционным для Европы и США горизонтально-пропеллерным конструкциям.

Благодаря независимости от направления ветра, тихоходности турбины, простоте конструкции такие ВЭУ по ряду характеристик превосходят тради-

ционные. ВЭУ рассчитаны на рабочий диапазон ветров от 5 до 25 м/с со сроком службы 20 лет. Стальная опорная башня ЕСО-0020 (ЕСО-0420) имеет высоту 14(35) м. Материал лопастей ВЭУ — алюминиевый сплав; частота вращения от 40 до 95 об/мин.

При среднегодовой скорости ветра в местах установки 6,2 м/с выработка электроэнергии составляет 60(1400) тыс. кВт·ч/год. ВЭУ могут работать параллельно с энергосистемой или дизельным источником энергии.



Рис. 6.4. Вертикально-осевые ВЭУ (разработка и изготовление украинской фирмы «Энергетические системы и оборудование»):

- а) ЕСО-0020 мощностью 20 кВт;
- б) ЕСО-0420 мощностью 420 кВт

Благодаря созданной в Украине Украинской ветроэнергетической ассоциации (UWEA), которая является неправительственной и неприбыльной

ассоциацией, развитие ветроэнергетики в стране имеет будущее. Целью ассоциации является продвижение ветроэнергетических технологий и защита интересов ветроэнергетического сектора на национальном и международном уровнях [46]. Активное участие в развитии ветроэнергетики принимает также Институт возобновляемой энергетики при НАН Украины. Кроме этого, согласно Закону Украины № 1220/VI «О внесении изменений в Закон Украины «О электроэнергетике» касательно стимулирования использования альтернативных источников энергии» от 01.02.2009 г. величина «зеленого тарифа» устанавливается на электроэнергию, выработанную возобновляемыми источниками энергии путем умножения существующей розничной цены на электроэнергию на коэффициент, приведенный в табл. 6.3. «Зеленый тариф» установлен до 1 января 2030 г. для всех субъектов хозяйствования, вырабатывающих электроэнергию за счет возобновляемых источников энергии. Выработана также структура проекта ветроэнергетической станции (прилож. 8).

Таблица 6.3

Поправочные коэффициенты «зеленого тарифа»

Установленная мощность ВЭУ, кВт	Коэффициент
Не более чем 600	1,2
600–2 000	1,4
Более 2 000	2,1

Самый высокий показатель ветрового энергетического потенциала в Украине составляет 3 700 МВт [45] и находится на Крымском полуострове. В настоящее время в Автономной Республике Крым работает несколько ВЭС, самыми известными из которых являются: Охотниковская, Донузлавская, Тарханкутская, Восточно-Крымская и Черномоская. Ведется сооружение Кутурской ВЭС. Как правило, мощности ВЭС дополняются солнечными электростанциями.

Сейчас в Крыму разрабатываются минимум восемь площадок для сооружения ВЭС общей мощностью 1,6 МВт. Этому способствует, в первую очередь, ряд законодательных инициатив, в частности, закон о «зеленом тарифе». Этот закон делает срок окупаемости альтернативных энергетических проектов самым лучшим в Европе. На Крымском полуострове он составляет от 5 до 6 лет, что превышает среднеевропейский показатель и делает инвестиции в ветроэнергетические проекты в Крымском регионе самыми выгодными.

Донецкая топливно-энергетическая компания построит в ветропарке стоимостью 1 млрд евро [45].



Рис. 6.5 Ветропарк «ДТЭК-Магнуш» на территории Первомайского района Донецкой области (Украина)

Несмотря на кризис (с 2008 г.) украинская ветроэнергетика демонстрирует неплохую динамику. Украинская малая ветроэнергетика неожиданно не только выбилась в лидеры по динамике развития среди стран СНГ, но и опередила некоторых европейских соседей. Только за последние полтора года количество установленных ВЭУ удвоилось. По данным исследования, подготовленного Украинской ветроэнергетической ассоциацией (УВЭА), за годы независимости Украины (1991–2009 гг.) в стране установлено около 1 170 ВЭУ мощностью до 10 кВт. Наиболее востребованными являются ВЭУ мощностью 1–2 кВт. Основными заказчиками являются владельцы загородных коттеджей, фермерских хозяйств, а также баз отдыха. Словом, все те, кто удален от энергосети. Еще одной категорией потребителей, заинтересованной в ВЭУ малой мощности, являются те, кто таким образом страхуется на случай перебоев в электроснабжении.

Хотя на украинском рынке широко представлена техника и китайского, и европейского производителей, все же более 50 % ВЭУ мощностью до 10 кВт, приходится на долю отечественного производителя.

Охотниковская ВЭС считается одной из самых крупных в Европе. Более чем 200 ВЭУ этой электростанции генерируют мощность, превышающую 500 МВт.

Финансовые ресурсы на строительство Охотниковской ВЭС в объеме 750 млн евро были предоставлены бельгийской компанией «Green Workx». Срок окупаемости инвестиций составит 6 лет, что гораздо лучше среднеевропейских показателей благодаря «зеленому» тарифу. По соседству ведется сооружение Кутурской ВЭС мощностью 392 МВт, объемы финансирования которого составляют 549 млн евро.

Немецкая компания «Fuhrlander AG», специализирующаяся на производстве ВЭУ, декларирует масштабные планы по строительству ВЭС в Украине. Изначально «Fuhrlander AG» зашла на украинский рынок по программе расширения действующей Новоазовской ВЭС, расположенной в Донецкой области (размер инвестиций 250 млн евро). Согласно планам «Fuhrlander AG», до июля 2011 г. необходимо ввести в строй 21 ВЭУ, единичной установленной мощностью 2,5 МВт. Завершить проект планируется в 2012 г., соорудив в течение этого года еще 28 аналогичных объектов.

В 2011 г. особенно активно развивалось направление в Крыму, где на сегодняшний день реализуется 17 проектов по созданию ВЭС. Первоначальные инвестиции в строительство ВЭС установленной мощностью 100 МВт оцениваются в 150 млн евро; такая инвестиция окупится за 7–8 лет.

Раздел 7.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В мировом рейтинге стран развивающих на своей территории ветроэнергетику Беларусь занимала в 2010 г. 67-е место (из 83-х в списке, см. прилож. 1), хотя располагает ветроэнергетическими ресурсами, достаточными для обеспечения 10–20 % требуемой электроэнергии в стране [47].

Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, одним из которых является ветер.

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование:

- ветроэнергетическими ресурсами;
- ветроэнергетическим оборудованием (ВЭУ);
- развитой ветротехнической инфраструктурой.

1-й компонент. Для ветроэнергетики Беларуси энергетический ресурс ветра практически неограничен. В стране имеется развитая централизованная электросеть (рис. 7.1) и большое количество свободных площадей, не занятых субъектами хозяйственной деятельности. Поэтому размещение ВЭУ и ВЭС обуславливается только грамотным размещением ветроэнергетической техники на пригодных для этого площадях.

2-й компонент. Возможности приобретения зарубежной ветротехники весьма ограничены.

3-й компонент. Отсутствие инфраструктуры по проектированию, внедрению и эксплуатации ветротехники и, соответственно, практического опыта и квалифицированных кадров можно преодолеть только в ходе активного сотрудничества с представителями развитой ветроэнергетической инфраструктуры зарубежья.

Поскольку характеристики ветра внутри континента отличаются от характеристик ветра прибрежных зон и вблизи побережья, характеристики

соответствующих ВЭУ (начальная скорость вращения, скорость достижения номинальной мощности и др.) также разнятся. Так, хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации ВЭУ внутриконтинентального базирования ряда немецких фирм начинают работу со скоростей ветра 3,0–4,0 м/с и достигают номинальной мощности при скоростях 10–13 м/с. Следовательно, освоение ветроэнергетики в Беларуси необходимо вести, ориентируясь на ВЭУ зарубежного производства внутриконтинентального базирования. Карта зонального распределения среднегодовых фоновых скоростей ветра в Беларуси приведена на рис. 7.2 [52].

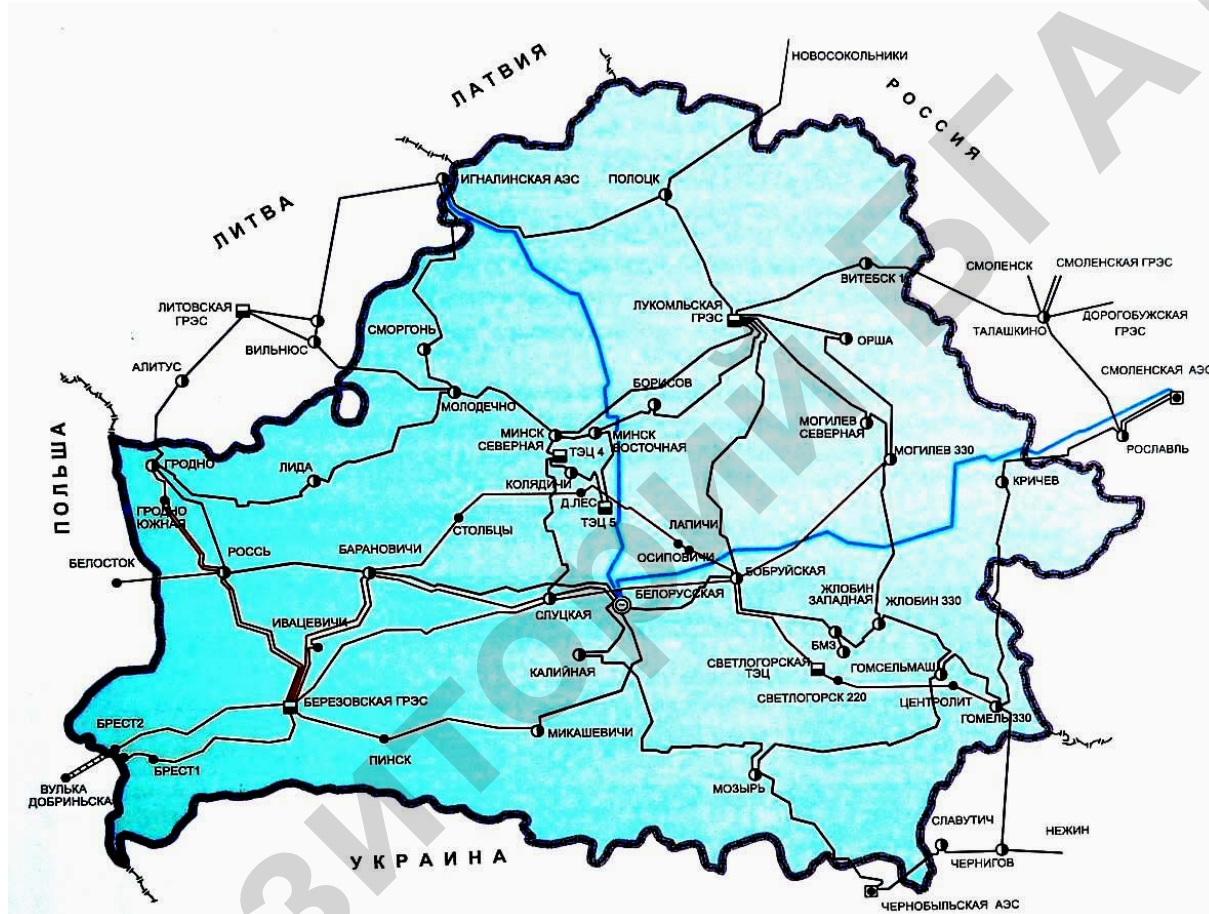


Рис. 7.1. Схема электрических сетей Республики Беларусь (напряжение 220, 330, 750 кВ)

Согласно мировой практике, типоряд ВЭУ В12 и В14 по номинальной мощности соответствует диапазону от 1 кВт до 1,5 МВт. При этом ВЭУ В12 для континентального базирования в Европе обладают диапазоном номинальной рабочей скорости ветра в центре ветродвигателя от 12 до 14 м/с. Определен также типоряд ВЭУ В6, В8, В10 на соответствие ветровым климатическим зонам, характерным для равнинно-холмистой местности. Для типоряда ВЭУ В6, В8, В10 на уровне оси ветродвигателя номинальная рабочая скорость ветра соответственно распределяется в диапазонах 6–8 м/с, 8–10 м/с и 10–12 м/с. Работы по оценке технического ветроэнергетического ресурса

Беларуси выполнены совместно НПГП «Ветромаш», РУП «Белэнергосеть-проект» и Госкомитетом по гидрометеорологии (см. табл. 7.1 и 7.2).

Гарантированная выработка утилизируемой энергии ветра с 7 % территории Беларуси составит 14,65 млрд кВт·ч. Использование же зон с повышенной активностью ветра гарантирует выработку энергии ВЭУ до 6,5–7,5 млрд кВт·ч с окупаемостью затрат в течение 5–7 лет.

Эти карты (рис. 7.2), являясь основной частью Ветроэнергетического атласа Беларуси, в достаточной мере обосновывают по региональным признакам возможности практической реализации возведения ВЭУ и ВЭС на территориях страны в целом и каждой области.

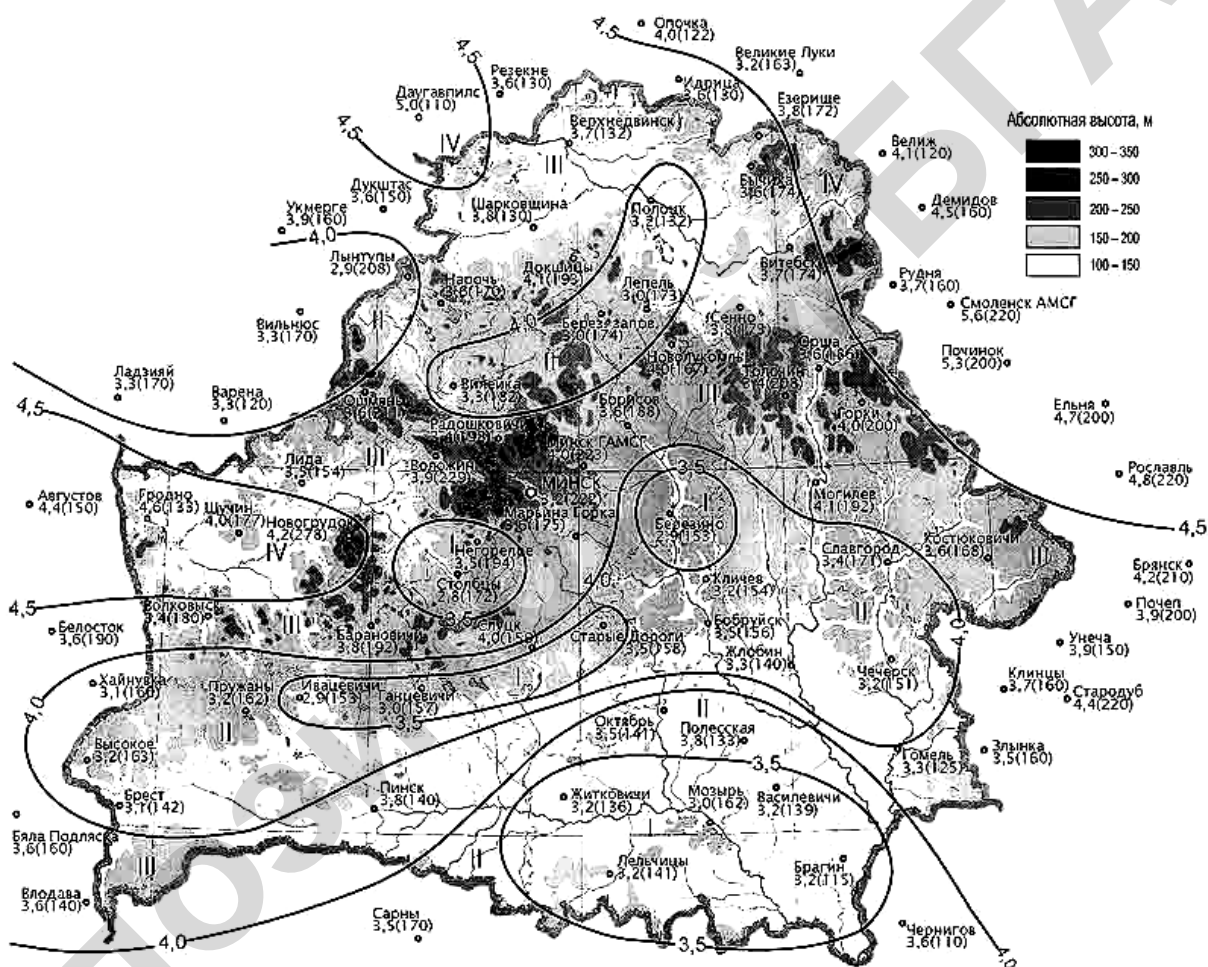


Рис. 7.2. Карта зонального распределения среднегодовых фоновых скоростей ветра в Беларуси: I, II, III, IV — зоны фоновыми среднегодовыми скоростями ветра соответственно по зонам: I до 3,5; II 3,5–4,0; III 4,0–4,5; IV более 4,5 м/с; 4,2 (163) — ветровые характеристики метеостанции, где 4,2 — среднефоновая скорость ветра, м/с; (163) — абсолютная высота расположения метеостанции, м

В Беларуси определены 1840 площадок для строительства ВЭУ (ВЭС) с энергетическим потенциалом более 200 млрд кВт·ч [52, 53]¹².

¹² Это гряды холмов высотой от 20 до 80 м с фоновой скоростью ветра 5 м/с и более, на которых можно возвести от 5 до 20 ВЭУ.

Наиболее эффективно обеспечивается использование современной зарубежной ветротехники на территориях зон со среднегодовыми фоновыми скоростями не ниже 4,5 м/с на холмистом рельефе (окупаемость ВЭУ при среднегодовой скорости ветра 6–8 м/с укладывается в срок около 5 лет). К таким регионам относятся: возвышенные районы большей части севера и северо-запада Беларуси, центральная зона Минской области, включая прилегающие с запада районы, Витебская возвышенность.

Таблица 7.1

Ветроэнергетические ресурсы территории Беларуси [52, 53]

Область	Используемая территория, тыс. км ²	Номер зоны	Территория зоны, тыс. км ²	Выработка энергии, млрд кВт·ч		
				Максимум в зоне	Утилизируемый ветроэнергоресурс	
					100 %	7 % на 10 лет
1	2	3	4	ПВЭР	ТВЭР	ЭВЭР
Брестская	14,9	II	10,9	23,51	20,78	1,45
		III	3,1	11,74	9,04	0,63
		IV	0,9	6,11	4,06	0,29
		Итого		41,36	33,88	2,37
Витебская	12,5	II	1,0	2,41	2,02	0,14
		III	4,2	20,11	16,43	0,12
		IV	7,3	53,13	35,33	2,47
		Итого		75,65	53,78	2,73
Гомельская	12,4	II	1,4	3,02	2,67	0,19
		III	8,5	32,43	24,96	1,75
		IV	2,5	16,30	10,84	0,75
		Итого		51,75	38,47	2,69
Гродненская	11,2	II	6,0	12,93	11,43	0,80
		III	2,9	11,09	8,29	0,58
		IV	2,3	15,22	10,12	0,71
		Итого		39,24	29,84	2,09
Могилевская	12,4	II	10,5	22,74	18,07	1,31
		III	1,9	7,25	5,58	0,39
		Итого		29,99	23,65	1,70

1	2	3	4	5	6	7
Минская	13,9	II	9,9	25,42	22,48	1,68
		III	1,3	4,84	3,73	0,26
		IV	2,7	19,93	17,62	1,23
		Итого		50,19	43,83	3,07
Всего по Беларуси	77,4	II	39,7	90,03	77,45	5,47
		III	21,9	87,46	68,03	3,73
		IV	15,7	110,59	78,02	5,45
		Итого		288,08	223,50	14,65

Примечания:

ПВЭР — полный ветроэнергетический ресурс, который основан на расчетах с приведением зональных показателей фоновых скоростей ветра к осредненному с высотой опоры ВЭУ коэффициенту повышения (1,25), включая длительность работы в номинальном режиме (≈ 3000 ч).

ТВЭР — технический ветроэнергетический ресурс основан на особенностях рельефа территории регионов с учетом коэффициентов работы ВЭУ — электромеханического (0,94) и простоя (0,93).

ЭВЭР — экономический ветроэнергетический ресурс определяется при планировании развития ветроэнергетики Беларуси.

Таблица 7.2

Характеристика ветроэнергетических ресурсов по региональным признакам [52, 53]

Показатели	Регионы и их высота, м				
	100–150	150–200	200–250	250–300	Более 300
1	2	3	4	5	6
Класс площадок	I	II	III	IV	V
Площадь регионов, км ²	91 741	99 421	13 907	2 283	208
Фоновая среднегодовая скорость ветра, м/с	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3
Среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м, м/с	4,5	4,9	5,4	5,8	6,2
Среднегодовая скорость ветра на высоте 70 м, м/с	6,5	6,8	7,3	7,9	8,2
Расчетная скорость ветра (для ВЭУ — номинальная)	10,4	10,9	11,7	12,6	13,1
Ветровой поток на высоте 10 м, Вт/м ²	171	196	243	308	344
Суммарная площадь под ВЭУ, км ²	18348	19884	2781	457	42
Типы ВЭУ	В6, В8	В8, В10	В10, В12	В12, В14	В14
Суммарная мощность ВЭУ на площадках, МВт	38 530	47 722	8 065	1 645	176

1	2	3	4	5	6
Годовая выработка ВЭУ (ТВЭР), млрд кВт·ч	115,6	143,2	24,2	4,9	0,5
Установленная мощность ВЭУ с 40-м колесом, МВт	0,33	0,38	0,47	0,59	0,66
Расчетное число ВЭУ с 40-м колесом и N = 500 кВт на площадках ¹³ , шт.	165133	178957	25032	4109	378

Примечание. Распределение характеристик ветроэнергетических ресурсов проведено по региональным признакам, оцениваемым рельефом местности.

Исходя из ветроэнергетического потенциала, только в Минской области насчитывается 1 076 строительных площадок под размещение на каждой от 3 до 10 ВЭУ континентального базирования мощностью до 1 МВт. Среднегодовая выработка только 10 % этих ВЭУ в статистическом распределении времени работы в номинальном режиме от 2 500 до 3 300 ч в год на срок эксплуатации установок составляет около 2 676 млн кВт·ч [53, 54].

Реформирование белорусской энергосистемы предполагается осуществить в три этапа в течение 2010–2015 гг. [55]¹⁴. В соответствии с этим документом целью реформирования белорусской энергосистемы является создание республиканского оптового рынка электрической энергии.

На первом этапе (2010–2011 гг.) создано РУП «Высоковольтные электрические сети» и проводится разработка нормативной правовой базы функционирования энергосистемы в новых экономических условиях. Основными задачами предприятия планируется эксплуатация высоковольтных электрических сетей, передача электроэнергии и оперативно-диспетчерское управление объединенной энергосистемой.

На втором этапе (2012–2013 гг.) будет создано РУП «Белгенерация», в состав которого войдут наиболее крупные электростанции.

На третьем этапе (2014–2015 гг.) будет завершен процесс реформирования белорусской энергосистемы, создание оптового рынка электрической энергии и условий для эффективного привлечения инвестиций.

Осуществление таких структурных преобразований белорусской энергосистемы позволит решить многие задачи. Будут сформированы рыночные структуры и организованы республиканский оптовый рынок электрической

¹³ 9 ВЭУ на площади 1 км².

¹⁴ Это предусмотрено стратегией развития энергетического потенциала Беларуси, утвержденной постановлением правительства № 1180.

энергии, обеспечена прозрачность затрат на всех стадиях производства, передачи, распределения и продажи электрической и тепловой энергии.

Предлагаемый альтернативный инновационный сценарий позволяет снизить потребление газа в энергетике до 2020 г. почти наполовину: с нынешних 18,5 млрд м³ до 9,3 млрд м³. В качестве реальной альтернативы атомной энергетике выступает, прежде всего, развитие ветроэнергетики, использование энергии биомассы и выработка биогаза. По данным экспертов, строительство 3,5 тыс. ВЭУ, мощностью 2 МВт каждая, позволит производить такой же объем электроэнергии, как и два энергоблока планируемой к строительству АЭС. Это потребует 7 млрд дол. инвестиций, включая подготовку ВЭУ к эксплуатации, что меньше 9 млрд дол., необходимых для атомной станции. Цикл строительства ВЭУ занимает менее года, поэтому можно оперативно корректировать ввод ветроэнергетических мощностей в зависимости от динамики энергопотребления [55].

За последние десять лет в Республике Беларусь в эксплуатации находилось 5 различных ВЭУ:

1. Ветроэнергетическая установка «Нордекс 29/250»: мощность — 250 кВт; ввод в эксплуатацию — 2000 год.

2. Ветроэнергетическая установка «Якобс 48/600»: мощность — 600 кВт; ввод в эксплуатацию — 2001 год.

Обе установки расположены в д. Занарочь Мядельского района Минской области эксплуатирующей организацией ЧУП «ЭкоДомСтрой» в рамках гуманитарной программы МБОО «ЭкоДом» (по согласованию с Департаментом по гуманитарной деятельности управления делами Президента Республики Беларусь) в результате реализации при содействии зарубежных партнеров. На данный момент установки работают.

3. Ветроэнергетическая станция «ВЭС-200 кВт»: мощность — 200 кВт (3 энергоблока по 77 кВт производства ООО «Аэролла»); ввод в эксплуатацию — 26.05.2008 г.; место — СПК «Свитязянка 2003» Кореличского района Гродненской области.

4. Ветроэнергетическая установка «ВЭУ-250»: установленная мощность — 250 кВт (производства ООО «Аэролла»); тип — роторная; место — Международный инновационный экологический парк «Волма»; состояние: в стадии модернизации с увеличением мощности до 500 кВт. В настоящее время используется только в учебных или демонстрационных целях.

5. Ветроэнергетическая установка «ВЭУ-6»: мощность — 6 кВт (производства ООО «Аэролла»); место — Международный инновационный эколо-

гический парк «Волма»; за время работы (1 200 часов) выработано около 1100 кВт·ч. Состояние: работает, обеспечивает внутренние потребности.

Руководство Республики Беларусь осуществляет поддержку развития альтернативной энергетики. Так, была принята целевая государственная программа, согласно которой доля местных видов топлива и альтернативных источников энергии к 2012 г. в энергобалансе должна быть доведена до 25 %. На первом этапе ставка была сделана преимущественно на использование угля, торфа и древесины. Основным направлением стимулирования строительства новых объектов, работающих на местных видах топлива, стали закупки концерном «Белэнерго» электроэнергии, вырабатываемой такими предприятиями, по повышенным тарифам. Принято решение в первые 5 лет их эксплуатации покупать электроэнергию в 1,3 раза дороже обычных тарифов.

За последние шесть лет доля местных видов топлива значительно выросла — с 5,3 % до 21,7 %, что позволило сократить долю импортируемых топливно-энергетических ресурсов ЖКХ с 94,7 % до 78,3 %.

К 2020 г. Беларусь собирается снизить энергоемкость ВВП до 210–220 кг нефтяного эквивалента на 1 тыс. дол. ВВП и выйти по этому показателю на уровень Швеции. В 2015 г. энергоемкость ВВП должна снизиться не менее чем на 50 %, в 2020 г. — не менее чем на 60 % к уровню 2005 г.

Вопрос развития ветроэнергетики в Беларуси — это вопрос не столько ветрового потенциала, сколько вопрос экономики и энергетической политики. В позапрошлом веке трудно было найти белорусскую деревню, в которой не стояла бы ветряная мельница (рис. 7.3). Устройства были стационарными и передвижными: очень широко были распространены плавучие мельницы «водяки» и сукновальни, передвижные «ветряки». На зимовку такие «водяки» заводились в тихие затоны в стороне от фарватера. Производились они для собственных нужд и на «экспорт» — в Украину и Россию. Эти устройства не требовали сооружения плотин и не наносили вреда окружающей среде, в отличие от плотинных. Поэтому еще недавно мнение о бесперспективности развития ветроэнергетики в Беларуси как среди лиц, ответственных за принятие решений, так и специалистов по традиционной энергетике, не соответствует исторической действительности.

Количество площадок для ВЭУ, конечно, существенно больше, чем 1840, но выбирать их следует не только по скорости ветрового потока, но и с учетом наличия и мощности сетей в непосредственной близости от площадки.



Рис. 7.3. Ветряная мельница

Появление на международном рынке ВЭУ мощностью 1,5–2 МВт континентального базирования (высотой 90–110 м) в принципе изменяет перспективы развития ветроэнергетики в стране.

Немецкая компания «Entrag AG» планирует построить в Дзержинском районе Минской области у поселка Волма (самое высокое место в Беларуси) первый ветропарк в 2012 г. Проект планируют реализовать в два этапа. На первом создадут ветропарк с энергетической мощностью до 80 МВт, на втором его мощность возрастет до 160 МВт. Компания «Entrag AG» реализует проект за счет собственных средств. По предварительной информации, стоимость первого этапа составит около 104 млн евро [55]. Компания будет владельцем объекта и начнет продавать электроэнергию для белорусской энергосистемы. Эксперты компании считают, что проект ветропарка окупится через 10 лет после начала строительства.

В Беларуси в 2011–2015 гг. могут быть построены ветропарки суммарной мощностью до 300 МВт. Об этом говорится в Стратегии развития энергетического потенциала Республики Беларусь, которая утверждена постановлением Совета Министров № 1180 и рассчитана на период до конца 2020 г.

Презентация первой в Беларуси ВЭУ мощностью 1,5 МВт (ВЭУ — «NEAG HW82/1500», пилотный проект) состоялась в Гродненской области в апреле 2011 года. Участие в презентации приняли представители китайской компании NEAG, Министерства энергетики Беларуси, ГПО «Белэнерго», РУП «Гродноэнерго», местных властей. ВЭУ размещена в поселке Грабники Новогрудского района. Высота расположения установки над уровнем моря — около 320 м. Длина каждой из трех лопастей ветроколеса составляет около 40 м, высота мачты — 81 м. Вес оборудования — около 200 т, вес гондолы — 65 т. Производителем является китайская компания «NEAG». Среднегодовая выработка электроэнергии установкой в Новогрудском районе составит примерно 3,8 млн кВт·ч, что соответствует экономии условного топлива около 1,1–1,25 тыс. т. Общая стоимость проекта оценивается в 8–9 млрд бел. руб. [55].

По результатам обследования площадки в районе поселке Грабники в дальнейшем здесь возможно размещение ветропарка из семи-восьми ветроэнергетических установок. Суммарная ориентировочная среднегодовая выработка электроэнергии такого ветропарка составит около 25–30 млн кВт·ч.

В заключение необходимо отметить что, эффективность внедрения ВЭС можно оценить на основании срока окупаемости затрат:

$$T = \frac{C_k}{(1-Z)C_A K_i 8760},$$

где C_k — удельные капитальные затраты (табл. 7.3), евро/кВт;

C_A — тариф на электроэнергию, евро/кВт·ч;

Z — годовые эксплуатационные затраты (они принимаются на основе имеющихся справочных данных в пределах 20 %, т. е. равными 0,2);

K_i — коэффициент использования номинальной мощности ВЭУ (можно принять 0,305–0,457).

Таблица 7.3

Расчет удельных затрат на ВЭУ

Стоимостная характеристика	Затраты, евро/кВт
Ветрогенератор (турбина)	1300
Фундамент под ВЭУ	35–40
Транспортные расходы	45–55
ТП 0,69/20(10) ¹⁵ кВ	35–50

¹⁵ Цифры в скобках относятся к энергосистеме Беларуси.

Стоимостная характеристика	Затраты, евро/кВт
ТП 20(10)/110(35) кВ	45–55
Строительство дорог	14–16
Кабельная сеть ветропарка ВЭС	26–29
ЛЭП для ветропарка	37–40
Монтаж ВЭУ (специальный кран)	35–50
Ввод в эксплуатацию (наладка)	15–25

Годовые эксплуатационные издержки включают:

- издержки на техническое обслуживание и текущий ремонт, 10 % от стоимости ВЭУ, деленные на срок эксплуатации 25 лет;
- отчисления на погашение процентной ставки за кредит, 10 % от стоимости ВЭУ, деленные на срок эксплуатации 25 лет;
- отчисление на эксплуатацию сетей, 6 % от годового дохода продаж электроэнергии;
- налоги, 10–15 % от годового дохода продаж электроэнергии;
- затраты на топливо отсутствуют, а затраты на заработную плату невелики и входят в издержки по техническому обслуживанию ВЭУ.

Раздел 8.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

При условии значительного улучшения в ближайшее время мировой финансовой ситуации, многие регионы мира смогут собрать фонды, необходимые для ускорения развития ветроэнергетики.

Положительным фактором развития современной ветроэнергетики является поддержка, оказываемая Международным агентством по возобновляемой энергетике «IRENA», основанном в 2009 г., деятельность которого резко активизировалась в 2010 г. Агентство «IRENA», в состав которого входит 143 страны-участницы, вносит свой вклад в глобальное распространение возобновляемых технологий, участвуя в качестве лоббирующей структуры на мировой политической арене, например, в переговорах ООН по изменению климата.

Дальнейший рост в первую очередь можно ожидать в ведущих ветроэнергетических рынках таких стран как: Китай, США, Германия, Испания и Индия (рис. 8.1), во многих других странах Европы, особенно Восточной Европы, а также в ряде стран Азии и Латинской Америки.

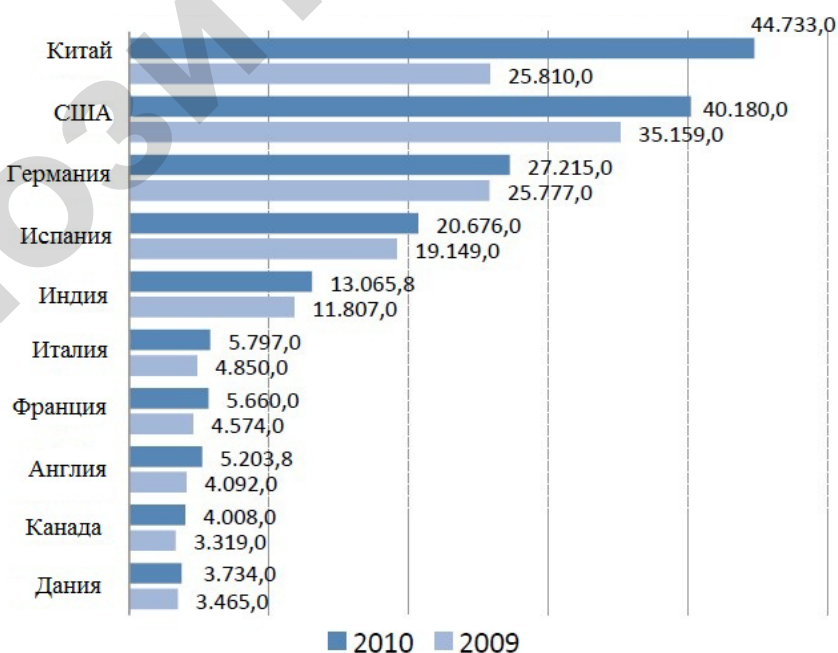


Рис. 8.1. Первая десятка стран-лидеров по развитию ветроэнергетики в мире: суммарная установленная мощность ВЭУ, МВт

Основываясь на ускоренном темпе роста, Всемирная ветроэнергетическая ассоциация (WWEA) увеличивает свой прогноз относительно дальнейшего роста ветроэнергетических мощностей во всем мире: к концу 2020 г. в мире будет установлено не менее 1 900 000 МВт ветроэнергетических мощностей (рис. 8.2).

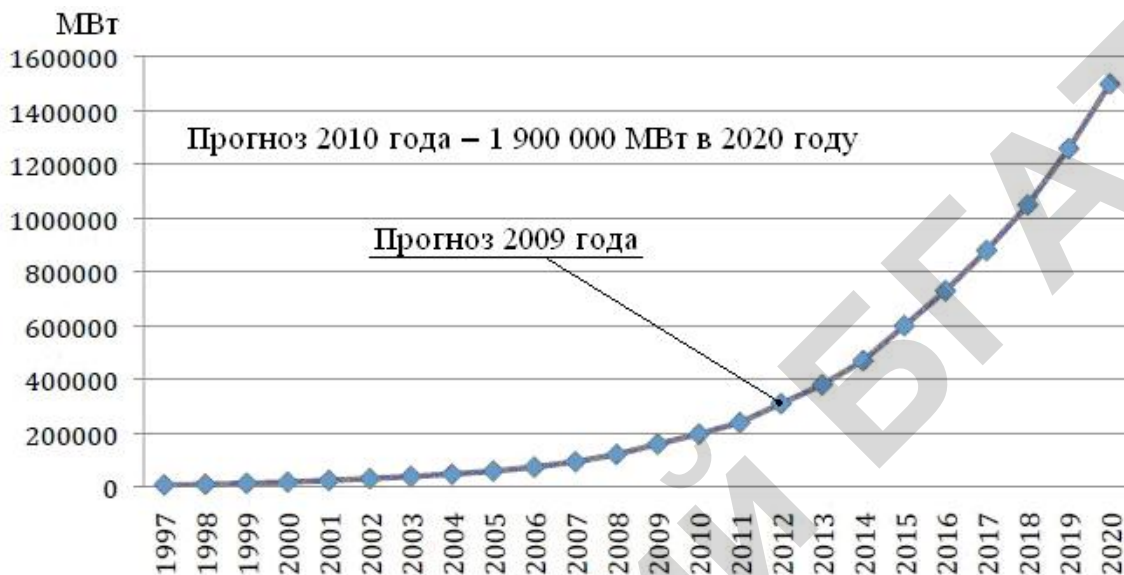


Рис. 8.2. Дальнейшие перспективы развития ветроэнергетики в мире

Прогнозы, которые разработаны Европейской ветроэнергетической ассоциацией [7], достаточно оптимистичны, имеют под собой экономическую основу и подкрепляются программами развития ветроэнергетики стран ЕС (рис. 8.3). Прогноз ежегодного рынка ветроэнергетических турбин на период 2009–2014 гг. в мире представлен на рис. 8.4.



Рис. 8.3. Доля ВИЭ и ветроэнергетики по выработке электроэнергии в Евросоюзе на перспективу до 2050 г.

Движущие силы развития мировой ветроэнергетики представляют собой следующие положения:

1. Постоянный рост цен на традиционные источники энергии.
2. Возможность снизить уровень энергетической зависимости.
3. Возможность развития местной независимой экономики.
4. Возможность уменьшения уровня безработицы.
5. Выполнение обязательств по сокращению выбросов CO₂.

Диапазон текущих затрат на производство электроэнергии из ВИЭ в Европе представлен на рис. 8.5. Стоимость электроэнергии, получаемой от применения фотоэлектричества составляет 45–80 евроцентов/кВт·ч. На рис. 8.6 приведена динамика стоимости различных технологий возобновляемой энергетики, рассчитанная с учетом кривых освоения. Следует подчеркнуть, что ожидаемое снижение затрат находится в принципиальной зависимости не от времени, а от кумулятивного эффекта массового производства, что требует в свою очередь развитие рынка этих технологий. Большинство технологий могут сократить инвестиционные затраты на 30–60 % от настоящего уровня к 2020 г. и на 20–50 % в период после 2040 г. достигнув своего полного развития.

Прямым следствием снижения инвестиционных затрат является снижение себестоимости производства тепловой и электрической энергии. Сегодня в наиболее важных областях, за исключением фотоэлектрической энергетики, стоимость производства электроэнергии составляет 8–20 евроцентов/кВт·ч; в долгосрочной перспективе ожидается снижение цен до 4–10 евроцентов/кВт·ч. Эти оценки зависят от локальных условий, таких как ветровой режим, солнечное излучение, доступность биомассы по приемлемой цене или условия кредита на строительство станций для комбинированного производства тепловой и электрической энергии.

Ресурс серийных ВЭУ в настоящее время достиг 120 тыс. ч, или 20 лет, при одном капремонте на 11–13-м году работы. Гарантия на новые ВЭУ у ведущих производителей составляет 2 года. Трудозатраты на производство, доставку, установку, подключение сети и запуск ВЭС колеблются по данным компаний «ENERCON», «GAMESA», «VESTAS» от 12 до 22 чел. лет на 1 МВт номинальной мощности.

Важным преимуществом ВЭС над традиционными электростанциями является быстрый ввод их мощностей и возможность наращивания ВЭС по модульной схеме. При возведении многоагрегатных ВЭС монтаж ВЭУ (более 1 МВт мощности в их составе) при наличии фундамента производится со скоростью 1 установка за 2–3 дня [7, 10].

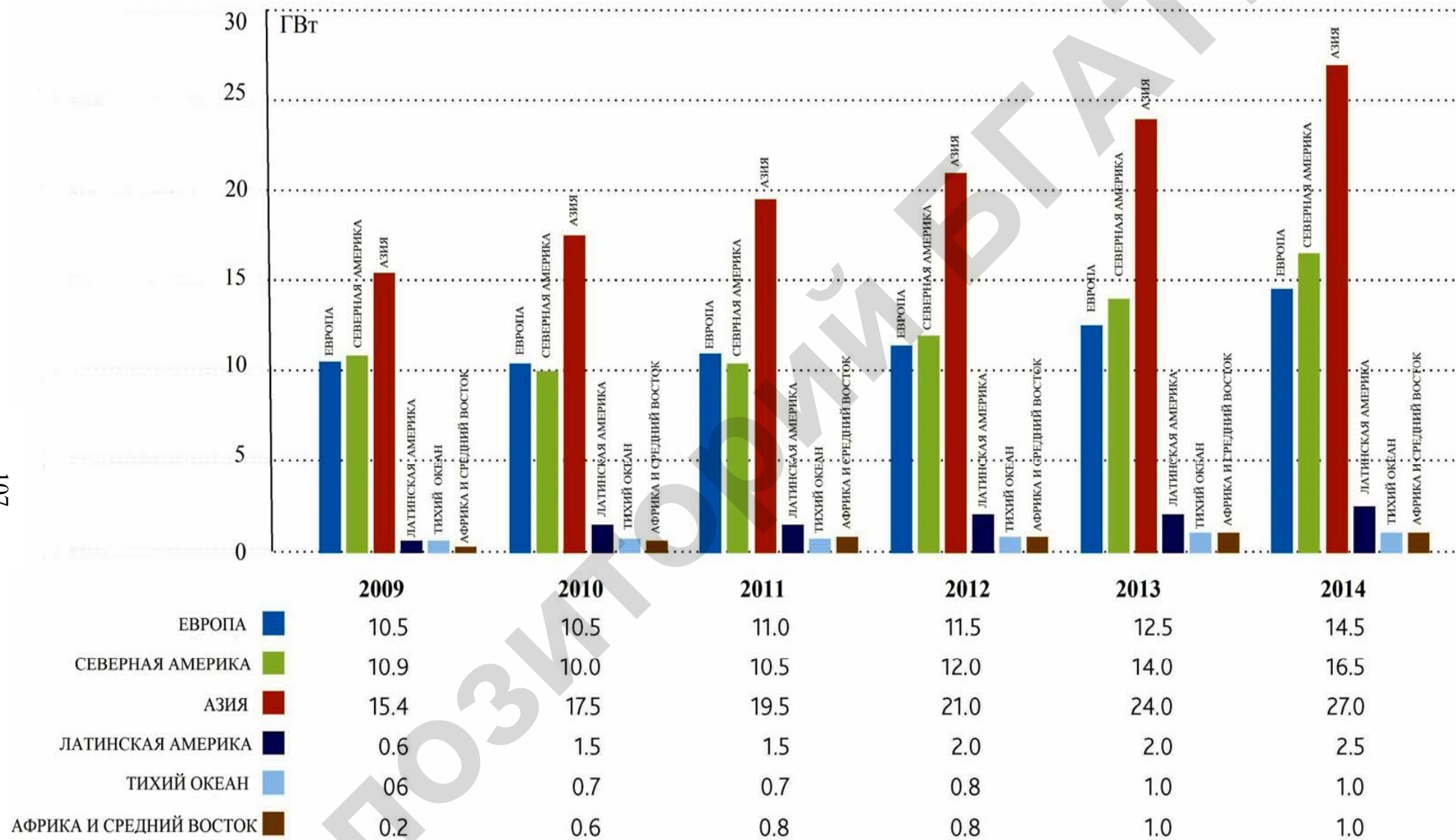


Рис. 8.4. Прогноз ежегодного рынка ветроэнергетических турбин на период 2009—2014 гг. в мире



Рис. 8.5. Диапазон текущих затрат на производство электроэнергии из ВИЭ в Европе (высокие затраты — светлый оттенок, низкие — темный оттенок)

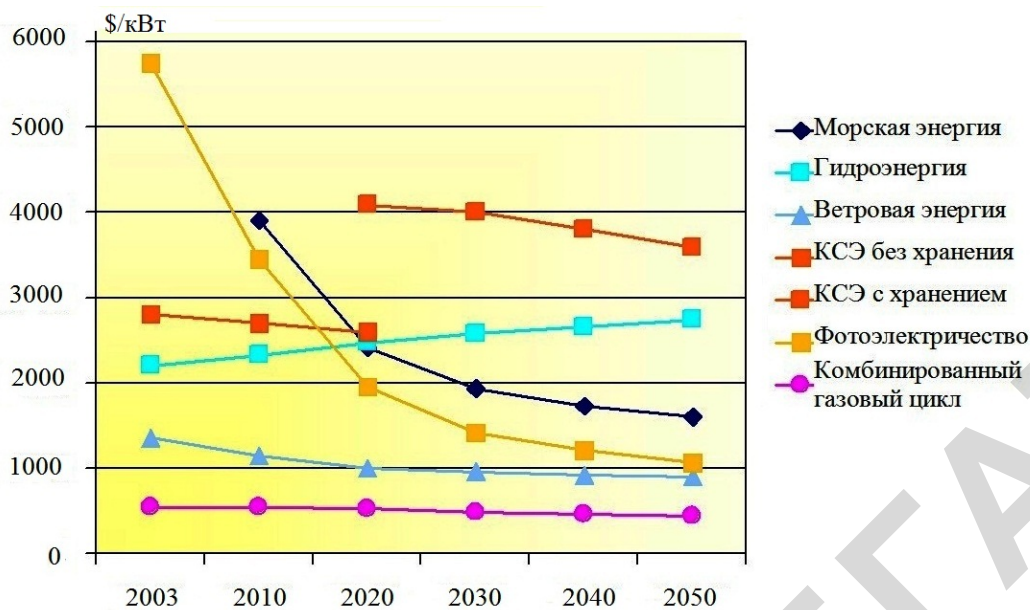


Рис. 8.6. Инвестиционные затраты (нормализованные по отношению к существующим уровням затрат) для различных технологий возобновляемой энергетики с учетом кривых освоения. Данные для европейских стран, кроме данных по гелиоэнергетике, приведенных для Среднего Востока

Перспективным направлением развития современной ветроэнергетики являются оффшорные ВЭС, функционирующие на морском шельфе. Номинальная мощность оффшорных ВЭС достигает 400 МВт при единичной мощности базовых ВЭУ не менее 2 МВт. По экономическим критериям рентабельны ВЭС, установленные на расстоянии до 40 км от берега и на глубине шельфа не более 35 м.

Основные полигоны оффшорных ВЭС — Балтийское, Северное и Норвежское моря, суммарный ветропотенциал которых по оценкам превосходит энергетические потребности Европы [13, 14].

Важным аргументом в пользу ВЭС является экологичность производимой ими электроэнергии. ВЭУ мощностью 1 МВт сокращает ежегодные выбросы в атмосферу до 1800 т CO_2 , 13 т SO_2 , 5 т NO_x и до 1 т пыли [56].

По оценкам «Global Wind Energy Council» к 2050 г. мировая ветроэнергетика позволит сократить ежегодные выбросы CO_2 на 1,5 млрд т.

Однако необходимо отметить, что воздействие на экологию того или иного источника энергии может быть оценено как положительно, что естественно дает преимущество для данного источника энергии, так и отрицательно. Рассмотрим основные отрицательные аспекты использования ветроэнергетики и определим пути решения этих проблем.

Шум в основном производят вращающиеся лопасти и работающие механические части ВЭУ, в первую очередь коробки передач. За последние

пять лет производителям ВЭУ удалось значительно понизить уровень шума. Критическим считается уровень шума в 40 дБ, но если рассматривать шум как помеху для сна, то, естественно, этот уровень должен быть ниже. Допустимый уровень обычно достигается на расстоянии около 250 м от мощной ВЭУ. Тем не менее, вопрос отношения к шуму является и чисто психологическим; владелец машины, возможно, воспринимает шум, производимый работающим агрегатом как признак процветания, в то время как его соседи могут быть раздражены вторжением в «их пространство».

На современных ВЭС ВЭУ отстоят друг от друга, по меньшей мере, на расстоянии, равным высоте пяти–десяти башен. Это расстояние позволяет потоку ветра восстанавливаться, а турбулентность, созданная работой ротора одной ВЭУ, не влияет на работу соседней, находящейся в подветренной стороне. Соответственно, получается, что только 1 % земли, занятой под ВЭС, реально используется под установку башен и под подъездные пути. Чем выше и мощнее ветряки, тем большее расстояние необходимо между ними. ВЭУ (мощностью более 1 МВт) разделены расстоянием в 1,5 км. Территория между мощными ветряками не может использоваться ни под строительство зданий, ни под лесоводство, однако возможно заниматься сельским хозяйством или другой деятельностью (как в Дании, Нидерландах, Германии). Фундамент ВЭУ, занимающий место около 10 м в диаметре, обычно полностью находится под землей, позволяя расширить сельскохозяйственное использование земли практически до самого основания башни. Кроме того, земля может быть сдана в аренду, что позволяет фермерам получать дополнительный доход. В США стоимость аренды земли под одной ВЭУ составляет 3–5 тыс. дол. в год.

Необходимость в большом расстоянии между ветряками означает, что ветряки потенциально могут быть видны с расстояния в десятки километров. Чаще всего на ВЭУ обращают внимание туристы и летчики. Визуальное воздействие оффшорных ВЭС в полной мере пока еще не определено.

Металлические сооружения ВЭУ, особенно элементы в лопастях, могут вызывать значительные помехи в приеме радиосигнала. Чем крупнее ВЭУ, тем большие помехи она может создавать. В ряде случаев для решения проблемы приходится устанавливать дополнительные ретрансляторы для телевизионных и радиосигналов, однако это не очень дешево.

Низкочастотные колебания, передающиеся через почву, вызывают ощутимый дребезг стекол в домах на расстоянии до 60 м от ВЭУ мощностью более 1 МВт [56]. Как правило, жилые дома располагаются на расстоянии

не менее 300 м от ВЭУ. На таком расстоянии вклад ВЭУ в инфразвуковые колебания уже не может быть выделен из фоновых колебаний.

Птицы часто сталкиваются с высоковольтными линиями передач, мачтами, антеннами, окнами зданий. Они также погибают из-за столкновения с проезжающими автомобилями. ВЭУ редко вредят птицам (см. табл. 8.1). Единственная территория, печально известная из-за проблем с птицами, находится в районе каньонов в штате Калифорния. Оффшорные ВЭС практически не влияют на среду обитания водоплавающих птиц. Аргументом в защиту ВЭС, является тот факт, что земля вокруг ВЭУ предоставляет прекрасные условия для размножения птиц.

Таблица 8.1

Основные причины гибели птиц¹⁶ [56]

Причины гибели	Количество
Столкновение со строительными конструкциями (дома, окна)	5500
Кошки	1000
Действующие ЛЭП	800
Механизмы	700
Пестициды	700
Столкновение с телебашнями	250
Другие причины	1000
Ветряные турбины	Менее 1

При эксплуатации ВЭУ в зимний период при высокой влажности воздуха возможно образование ледяных наростов на лопастях. При пуске ВЭУ возможен разлет льда на значительное расстояние. Как правило, на территории, на которой возможны случаи обледенения лопастей, устанавливаются предупредительные знаки на расстоянии 150 м от ВЭУ. Кроме того, в случае легкого обледенения лопастей были отмечены случаи улучшения аэродинамических характеристик профиля.

Кроме экологических аспектов развития ветроэнергетики необходимо отметить также организационные (подготовительные) и эксплуатационные (технические) проблемы. Рассмотрим некоторые из них:

1. Организационные:

- ВЭУ строится на подготовленной площадке за 7–10 дней. Получение разрешений регулирующих органов на строительство может занимать год и более. Кроме того, для обоснования строительства ВЭУ (ВЭС) необходимо

¹⁶ Рассчитано на 10 тыс. голов.

проведение длительных (не менее года) исследований ветра в районе строительства. Эти мероприятия могут увеличить срок реализации ветроэнергетических проектов;

- для строительства ВЭУ необходимы дороги до строительной площадки, тяжелая подъемная техника.

2. Эксплуатационные:

- обледенение лопастей и других частей генератора, которое способно увеличить массу лопастей и снизить эффективность работы;

- удары молний, которые могут привести к пожару (несмотря на установку молниеотводов);

- отключение ВЭУ при резких колебаниях скорости ветра (срабатывает электрическая защита аппаратов входящих в состав системы), что снижает эффективность системы в целом;

- нестабильность работы генератора из-за того, что в большинстве ВЭУ стоят асинхронные генераторы, стабильная работа их зависит от постоянства напряжения в ЛЭП;

- пожары, которые могут возникнуть из-за трения вращающихся частей внутри гондолы, утечки масла из гидравлических систем, обрыва кабелей и т. д. Пожары на ВЭУ достаточно редки¹⁷, но при возникновении их трудно тушить из-за отдаленности ВЭС и большой высоты, на которой происходит пожар.

Несмотря на некоторые проблемы, препятствий для развития ветроэнергетики не существует; ее развитие подтверждается стратегическими планами ЕС (рис. 8.7.) и исследовательскими программами (табл. 8.2).

Экономические показатели современной ветроэнергетики характеризуются относительно высокими удельными капитальными вложениями (табл. 8.3).

При сравнении выработки электроэнергии по себестоимости современные ВЭС выигрывают у ТЭС и АЭС, особенно с учетом «скрытых» затрат при использовании тепло- и атомных электростанций, обычно не включаемых в цену электроэнергии. Эти затраты связаны с загрязнением среды обитания и соответствующими природоохранными мероприятиями, а для АЭС — с обеспечением безопасности, переработкой и захоронением радиоактивных отходов. С учетом сказанного, реальная себестоимость традиционных электростанций по данным исследований ЕС оказывается существенно выше «официальной»: для АЭС — на 20 %, для ТЭС на газе — примерно на 30 %, для ТЭС на угле или нефтепродуктах — почти вдвое выше их официальных рыночных цен.

¹⁷ На ВЭУ имеются системы пожаротушения.

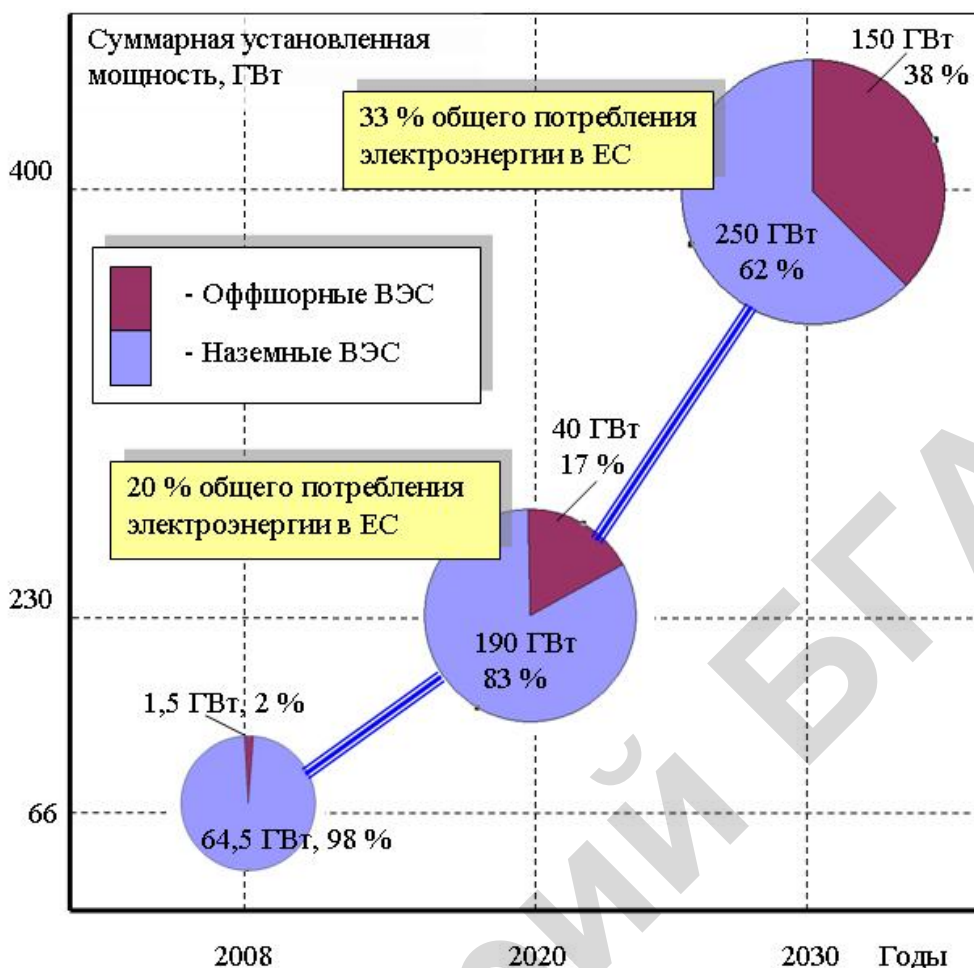


Рис. 8.7. Стратегический план ЕС по развитию ветроэнергетики на короткий (до 2020 г.) и средний (до 2030 г.) периоды

Таблица 8.2

Основные направления финансирования ветроэнергетических технологий

Технологии	Англия	США	Япония	Германия	Нидерланды	Дания
Разработка ВЭУ (8—10 и до 20 МВт)	High	Low	Low	High	High	High
Строительство ветропарков (ВЭУ по 5 МВт)	High	Low	Low	High	High	High
Низкоскоростные технологии (ВЭУ 2—3 МВт)	Low	High	Low	Low	Low	Low
Распространение ВЭУ менее 100 кВт	Low	Medium	Low	Low	Low	Low
Исследования и испытания ВЭУ	Low	High	Medium	Medium	Medium	Medium
Социально-экономические и экологические исследования	Medium	Medium	Low	Medium	Medium	Medium

Высокий уровень > 30 % от общего финансирования ветровых технологий
 Средний уровень 15–30 %
 Ограниченный уровень < 15 %

В целом, затраты на использование крупных ВЭС однозначно окупаются, особенно с учетом сохранения окружающей среды и улучшения экологической обстановки из-за снижения выбросов в атмосферу вредных продуктов сгорания органического топлива.

Таблица 8.3

Среднемировые оценки удельных капитальных вложений
в энергоустановки различных типов на период до 2015 г.

Тип электростанций	Условное обозначение	Удельная стоимость, дол./кВт
Паротурбинная (на угле)	ПТУ	1150–1470
Атомная	АЭС	1500–2500
Гидравлическая (большая)	ГЭС	1840–2760
Гидравлическая (малая)	ГЭС	1150–3450
Газотурбинная	ГТУ	300–340
Парогазовая	ПГУ	500–550
Ветроэнергетическая	ВЭУ	1200–4600
Тепловая (солнечная)	ТГУ	2300–3220
Фотоэлектрическая(солнечная)	ФЭУ	3450–5170
Геотермальная	ГЭУ	1150–1720
Приливная	ПЭУ	1840–3680
На твердых бытовых отходах	ЭУТБО	2280–3220
Установка на биомассе	БГЭУ	1700–2760

Примечание. Диапазоны изменения удельной стоимости обоснованы разными требованиями к охране окружающей среды (для ТЭС и АЭС удорожание 15–30 %) и проектными условиями.

Таблица 8.4

Прогноз роста вклада ВИЭ в мировой энергетический баланс

Источники энергии	Годовой рост вклада ВИЭ, %				
	2000	2010	2020	2030	2040
Биомасса	2	2,2	3,1	3,3	2,8
Большие ГЭС	2	2	1	1	0
Малые ГЭС	6	8	10	8	6
Ветроэнергетика	33	28	20	7	2
Фотоэлектричество	25	28	30	25	13
Солнечное теплоснабжение	10	16	16	14	7
Солнечное электроснабжение	2	16	22	18	15
Геотермальная энергия	6	8	8	6	4
Энергия морских приливов	—	8	15	22	21

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ученые и исследователи разработали достаточное количество предложений по уменьшению выбросов углекислого газа в атмосферу. Эти предложения основываются на увеличении энергоэффективности и использовании возобновляемых источников энергии. Поэтому необходимо сделать так, чтобы мировая энергосистема перестала оказывать значительный экологический урон окружающей среде и при этом обеспечила бы всеобщую потребность в энергии в течение нескольких десятилетий. Это будет наилучшим выходом из сложившейся ситуации, когда необходимо остановить изменение климата, вызванное деятельностью человека, до приемлемого уровня и решить проблему обеспечения энергией. Сегодня у нас есть более продвинутые технологии, чем когда-либо, для достижения этих целей с помощью увеличения энергоэффективности и использования возобновляемой энергии.

На основе исследований «INFORCE» [58] предлагает стратегию достижения 100 % выработки энергии в мире за счет возобновляемых источников к 2050 г. и, соответственно, 100 % сокращение выбросов CO₂. Повсеместное внедрение новых, эффективных технологий приведет к значительному снижению их стоимости, так как они станут массовым серийным продуктом. Инвестиции, необходимые для выведения на рынок устойчивых технологий, окупятся за счет появления более дешевых технологий в будущем. Все это требует наличия воли у политического руководства стран мира.

Ветроэнергетика продолжит свой рост благодаря национальным политикам, существующим на основных рынках, а также из-за того, что многие правительства в своих планах по восстановлению экономики отдали предпочтение развитию возобновляемой энергетики [23].

В ветровой индустрии прослеживается тенденция увеличения высоты и мощности ВЭУ. Как показывают исследования [59] в XXI веке будут использоваться ВЭУ с единичной мощностью 4–8 МВт и высотой башни более 100 м, так как производительность установок растет при увеличении их высоты за счет увеличения скорости ветра.

С конца 1970-х до 1990-х гг. в ветроэнергетике высота ВЭУ ограничивалась 50 м, а к концу 1990-х гг. достигала 60–70 м, при этом мощность турбин изменилась от 800 кВт до 1 МВт. Технология требовала большего диаметра ротора, следовательно, и более высоких установок. В конечном итоге выяснилось, что дешевле построить меньше ВЭУ большей мощности, поскольку это приведет к сокращению общей стоимости инфраструктуры.

Сегодня мировой рынок возобновляемых источников энергии активно развивается и по прогнозам на ближайшие 10 лет перспективы развития достаточно радужные. Мощность турбин в среднем колеблется от 2 до 3 МВт для наземных проектов. На рынке ВЭУ, предназначенных для установки на суше, турбины мощностью 3 МВт и высотой башни 90–100 м становятся стандартом. Рынок оффшорной ветроэнергетики будет продолжать свой рост, так как именно там были получены самые высокие показатели эффективности (новые разрабатываемые турбины, мощностью 7–10 МВт).

Увеличивая высоту ВЭУ и мощность турбины, мы можем существенно снизить стоимость инфраструктуры в целом. Существуют многочисленные дополнительные преимущества меньшего количества установок, входящих в состав одного проекта:

- уменьшено воздействие на окружающую среду в целом;
- меньше подъездных дорог;
- меньшая часть площадки занята строительными работами;
- оказывается меньшее воздействие на почву за счет сокращения земляных работ;
- частота вращения ротора более высоких агрегатов с турбинами большей мощности ниже (менее 15 об/мин), что означает меньший урон перелетным птицам (птицы могут проследить вращение нижней лопасти и изменить траекторию своего полета);
- снижение количества ВЭУ снижает общие эксплуатационные расходы (легче контролировать работу 25 установок, чем 100).

Для облегчения проектирования современных ВЭУ предлагается [58] создать реестр башен и перечень вопросов, вызывающих затруднения при проектировании, которые включили бы в себя:

- структурный мониторинг производительности: мониторинг нескольких выбранных установок, с учетом оказываемых на них нагрузок, напряжений и их производительность;
- комплексные исследования неисправностей в конструкции ВЭУ;

- оценку всех условий нагрузки (необходимо установить единые стандартные требования для всех производителей ВЭУ);
- статистический учет (всех возникающих проблем и вопросов с тем, чтобы отслеживать эффективность различных систем);
- совершенствование конструкционных принципов (единая база данных по проектированию ВЭУ, учитывающая конструктивные изменения ВЭУ).

Для Республики Беларусь:

- предпочтительными вариантами строительства ВЭС являются площадки, расположенные в Гродненской, Витебской и Минской областях, где среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м от земли превышает 4,8 м/с, а на высоте 100 м — более 10 м/с;

- целесообразен выбор ВЭУ мощностью 1,5–3 МВт с расчетной скоростью ветра 11 м/с и высотой опоры 110 м;

- не следует внедрять ВЭУ мощностью менее 1 МВт, демонтируемые в странах ЕС в связи с техническим перевооружением мировой ветроэнергетики и предлагаемые на рынке;

- при проектировании ВЭС учитывать возможность ее расширения и выбора элементов электрической схемы связи с энергосистемой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркетинговые исследования, бизнес-планирование, консалтинг: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.research-techart.ru> (дата обращения: 26.07.2011).
2. Открыт ветропарк Alpha Ventus в Северном море: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.energie-forum.ru> (дата обращения: 26.07.2011).
3. Earth Policy Institute: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.earth-policy.org> (дата обращения: 23.12.2011).
4. Википедия: ветроэнергетика: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.wikipe-dia.org/wiki/.ru> (дата обращения: 21.10.2011).
5. World Wind Energy Association (WWEA): [сайт]. [2011]. URL: <http://www.wwindea.org> (дата обращения: 21.10.2011).
6. World Wind Energy Report 2010: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.wwindea.org> (дата обращения: 17.11.2011).
7. EU Energy Policy to 2050: A report by the European Wind Energy Association: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.ewea.org> (дата обращения: 21.10.2011).
8. Global Wind Energy Outlook 2008: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.gwec.net> (дата обращения: 17.11.2011).
9. Wind Energy Factsheets: By the EWEA 2010: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.ewea.org> (дата обращения: 17.11.2011).
10. Power Supply 2020 – Forecast for the renewable energy industry. BBE, 2009.
11. Industry Forecast 2020: 1/2009: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.unendligh-viel-energie.de> (дата обращения: 12.01.2011).
12. Оффшорная ветроэнергетика: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.eea.ropa.eu/publications/europes-onshore-and-offshore-wind-energy-potential> (дата обращения: 12.01.2011).
13. Оффшорная ветроэнергетика: [сайт]. [2011]. URL: http://ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Offshore_Report_2009.pdf (дата обращения: 13.02.2011).
14. Оффшорная ветроэнергетика: [сайт]. [2011]. URL: <http://newfuture.ru/facts/offshore-wind-generators-future-v-europe.html> (дата обращения: 21.11.2011).
15. Ветровая энергетика, пример из Пенсильвании: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.em-gazeta.ru> (дата обращения: 12.01.2011).
16. Ветроэнергетика США: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.renewable-energyworld.com> (дата обращения: 12.01.2011).
17. Google pumps \$100M into Shepherds Flat wind farm: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.cheburek.net> (дата обращения: 21.10.2011).
18. Разработана новая концепция ветряной электростанции — без турбин: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.alter-energetics.com> (дата обращения: 23.10.2011).
19. China's Galloping Wind Market, by Matthew L. Wald — 2011: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.abirus.ru> (дата обращения: 21.08.2011).
20. EER Says China's Wind Market Unfazed by Financial Crisis: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/home> (дата обращения: 21.10.2011).

21. *Eric Martinot, Junfeng*. Renewable Energy Policy Update For China 21 Июль 2010 г.: [сайт]. [2010]. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/07/renewable-energy-policy-update-for-china?cmpid=rss> (дата обращения: 13.12.2010).
22. Wind Energy Businesses in China: [сайт]. [2012]. URL: <http://ener-gy.sourceguides.com/businesses/byGeo/byC/China/byP/wRP/wRP.shtml> (дата обращения: 16.01.2012).
23. Chine Wind Power Outlook 2010: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.gwec.net> (дата обращения: 13.01.2011).
24. Smart Wind Turbines Can Predict the Wind: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.risoe.dk> (дата обращения: 17.03.2011).
25. Малые ВЭС на рынке Канады и перспективы их развития: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.smallwindenergy.ca/en/Overview/SmallWindCanada/CanadianMarket.html> (дата обращения: 21.02.2011).
26. Поддержка канадских фермеров по использованию энергии ветра: Ontario Will Pay Farmers 14.5 cents per kWh for Their Wind Generation: [сайт]. [2012]. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/12/ontario-will-pay-farmers-14-5-cents-per-kwh-for-their-wind-generation?cmpid=rss> (дата обращения: 12.01.2012).
27. Прогноз развития ветроэнергетики Канады: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.canwea.ca> (дата обращения: 12.02.2011).
28. Немецкие концерны построят крупные ветропарки у побережья Великобритании: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.dw-world.de> (дата обращения: 19.02.2011).
29. Ветроэнергетика Испании: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.ecology.md> (дата обращения: 19.02.2011).
30. Энергетические острова: очередная панацея? [сайт]. [2011]. URL: <http://apocalypsejournal.ru> (дата обращения: 26.11.2011).
31. Развитие оффшорной ветроэнергетики в Великобритании: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.dw-world.de> (дата обращения: 23.12.2011).
32. Освоение оффшорной зоны Северного моря: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.cheburek.net> (дата обращения: 23.12.2011).
33. Комбинированное получение электроэнергии: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.cheburek.net> (дата обращения: 26.11.2011).
34. Германская ассоциация ветроэнергетики (BWE): [сайт]. [2011]. URL: <http://www.wind-energie.de> (дата обращения: 26.11.2011).
35. Enercon GmbH — один из крупнейших в мире производителей ветрогенераторов: [сайт]. [2011]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Enercon> (дата обращения: 18.10.2011).
36. First REpower 6-MW Turbines Assembled: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/home> (дата обращения: 23.12.2011).
37. Suzlon Acquires 90.72 % Stake in REpower: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.renewable-energyworld.com/rea/news/article/2009/06/suzlon-completes-acquisition-of-martifer-stake-in-repower?cmpid=rss> (дата обращения: 22.12.2011).
38. REpower System AG — один из крупнейших германских производителей ветрогенераторов: [сайт]. [2011]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/REpower_Systems (дата обращения: 17.02.2011).
39. Ветроэнергетика в Германии: финансовые затраты со временем окупаются: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.dw-world.de> (дата обращения: 17.04.2011).
40. Рынок ветрогенераторов в Германии в 2008 году: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.de-wi.de> (дата обращения: 22.12.2011).
41. Ветростанция морского базирования: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.energieforum.ru> (дата обращения: 15.11.2011).

42. Самая высокая в мире ветроустановка: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.dw-world.de> и www.fuhrlander.de (дата обращения: 15.07.2011).
43. Ветроэнергетика в России: [сайт]. [2011]. URL: <http://energyland.info> (дата обращения: 22.12.2011).
44. Ветроэнергетический потенциал России: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.rosteplo.ru>, energohelp.net и www.toolsmix.ru (дата обращения: 23.12.2011).
45. Ветроэнергетика в Крыму: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.nado.ua> и pm-crimea.com (дата обращения: 11.10.2011).
46. Ветроэнергетические проекты: Украина — Казахстан: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.uwea.com.ua> (дата обращения: 11.06.2011).
47. Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 24 декабря 2010 г. № 1882).
48. Постановление Министерства экономики РБ № 91 от 21.05.2006 г.
49. Стратегия развития энергетического потенциала Республики Беларусь (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2010 г. № 1180).
50. Закон Республики Беларусь «О возобновляемых источниках энергии» от 27 декабря 2010 г. № 204–З.
51. Директива Президента Республики Беларусь «Экономия и бережливость — главные факторы экономической безопасности государства» от 14 июня 2007 года № 3.
52. *Лаврентьев, Н.* Основные виды возобновляемой энергии. Потенциал Беларуси / *Н. Лаврентьев, Д. Жуков* // Энергетика и ТЭК, № 7, 2003.
53. НИР № 12488 «Методические указания по обоснованию и разработке схемы размещения площадок под ветроэнергетические установки на территории Республики Беларусь», руководитель к.т.н. Пекелис В. Г., Минск, НИПИ «Белэнергосетьпроект», 1995.
54. НИР 06.4.1 «Формирование информационного банка данных по ветроэнергетическому потенциалу в зонах предполагаемого внедрения ветроустановок», руководитель к.т.н. Шадурский Г. П.; ГНТП тема «Жилищно-коммунальное хозяйство», Минск, НППП «Ветромаш», 1998.
55. Новости ветроэнергетики: Белорусская энергосистема будет реформирована в течение 2010–2015 гг.: [сайт]. [2011]. URL: http://www.tycon/category/news_vetro (дата обращения: 13.09.2011).
56. Воздействие ветроэнергетики на экологию: [сайт]. [2011]. URL: www.teplonasos.com (дата обращения: 13.09.2011).
57. Turn Vibrations In To Electricity: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.scien-ceprog.com> (дата обращения: 22.12.2011).
58. Прогноз устойчивого развития мировой энергетики до 2050 г.: [сайт]. [2011]. URL: <http://www.inforse.org/europe/vision2050.htm> (дата обращения: 21.10.2011).
59. *Хатри, Д.* Экономическая эффективность увеличения высоты ВЭУ. «Renewable EnergyWorld North America»: URS Corp, Оклахома США, 10 ноября 2010 г.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Репозиторий БГАТУ

Таблица П. 1

Мировой рейтинг стран в освоении ветроэнергетики

Страна	Суммарная установленная мощность ВЭУ на конец 2010 году, МВт	Новые установленные мощности ВЭУ в 2010 году, МВт	Темп роста мощностей ВЭУ, %
1	2	3	4
1. Китай	44733,0	18928,0	73,3
2. США	40180,0	5600,0	15,9
3. Германия	27215,0	1551,0	6,0
4. Испания	20676,0	1527,2	8,0
5. Индия	13065,8	1258,8	10,7
6. Италия	5797,0	950,0	19,6
7. Франция	5660,0	1086,0	23,7
8. Великобритания	5203,8	1111,8	27,2
9. Канада	4008,0	690,0	20,8
10. Дания	3734,0	309,0	8,9
11. Португалия	3702,0	345,0	10,3
12. Япония	2304,0	211,0	10,1
13. Нидерланды	2237,0	15,0	0,7
14. Швеция	2052,0	603,8	41,7
15. Австралия	1880,0	3,0	0,2
16. Ирландия	1428,0	118,0	9,0
17. Турция	1274,0	477,5	59,9
18. Греция	1208,0	123,0	11,3
19. Польша	1107,0	382,0	52,7
20. Австрия	1010,6	16,0	1,6
21. Бразилия	920,0	320,0	53,3
22. Бельгия	886,0	340,0	62,0
23. Румыния	591,0	577,0	4121,4
24. Египет	550,0	120,0	27,6
25. Мексика	521,0	104,5	25,1
26. Тайвань (Китай)	518,7	82,6	18,9
27. Новая Зеландия	506,0	8,8	1,8
28. Норвегия	434,6	18,4	4,3
29. Южная Корея	379,3	48,9	14,0
30. Болгария	374,5	198,0	112,2
31. Венгрия	295,0	94,0	46,8
32. Марокко	286,0	33,0	13,0

1	2	3	4
33. Чехия	215,0	24,0	12,6
34. Финляндия	197,0	52,0	35,4
35. Чили	170,0	2,6	1,5
36. Литва	154,0	63,0	69,2
37. Эстония	149,0	6,9	4,8
38. Коста Рика	123,0	—	—
39. Иран	100,0	18,0	22,0
40. Украина	87,4	0,6	0,7
41. Кипр	82,0	82,0	—
42. Хорватия	69,8	43,0	61,0
43. Аргентина	54,0	25,3	88,2
44. Тунис	54,0	—	—
45. Люксембург	42,0	7,0	19,8
46. Швейцария	42,0	24,4	138,6
47. Никарагуа	40,0	—	—
48. Филиппины	33,0	—	—
49. Латвия	31,0	2,0	7,0
50. Вьетнам	31,0	22,3	254,3
51. Уругвай	30,5	10,0	48,8
52. Ямайка	29,7	—	—
53. Антильские острова	24,3	—	—
54. Гваделупа	20,5	—	—
55. Колумбия	20,0	—	—
56. Россия	15,4	1,2	8,6
57. Гуана	13,5	0	0
58. Куба	11,7	4,5	62,5
59. ЮАР	10,0	2,0	25,0
60. Израиль	6,0	—	—
61. Словакия	6,0	—	—
62. Пакистан	6,0	—	—
63. Фарерские острова	4,0	—	—
64. Кабо Верде	2,8	—	—
65. Экватор	2,5	—	—
66. Нигерия	2,2	—	—
67. Беларусь	1,9	—	—
68. Антарктика	1,6	—	—
69. Иордания	1,5	—	—

Окончание табл. П.1

1	2	3	4
70. Индонезия	1,4	—	—
71. Монголия	1,3	—	—
72. Мартиника	1,1	—	—
73. Фолклендские острова	1,0	—	—
74. Эритрея	0,8	—	—
75. Перу	0,7	—	—
76. Казахстан	0,5	—	—
77. Сирия	0,4	—	—
78. Намибия	0,2	—	—
79. Доминиканская Республика	0,2	—	—
80. Доминика	0,2	—	—
81. Северная Корея	0,2	—	—
82. Алжир	0,1	—	—
83. Боливия	0,01	—	—
Всего в мире	196629,7	37642,0	23,6

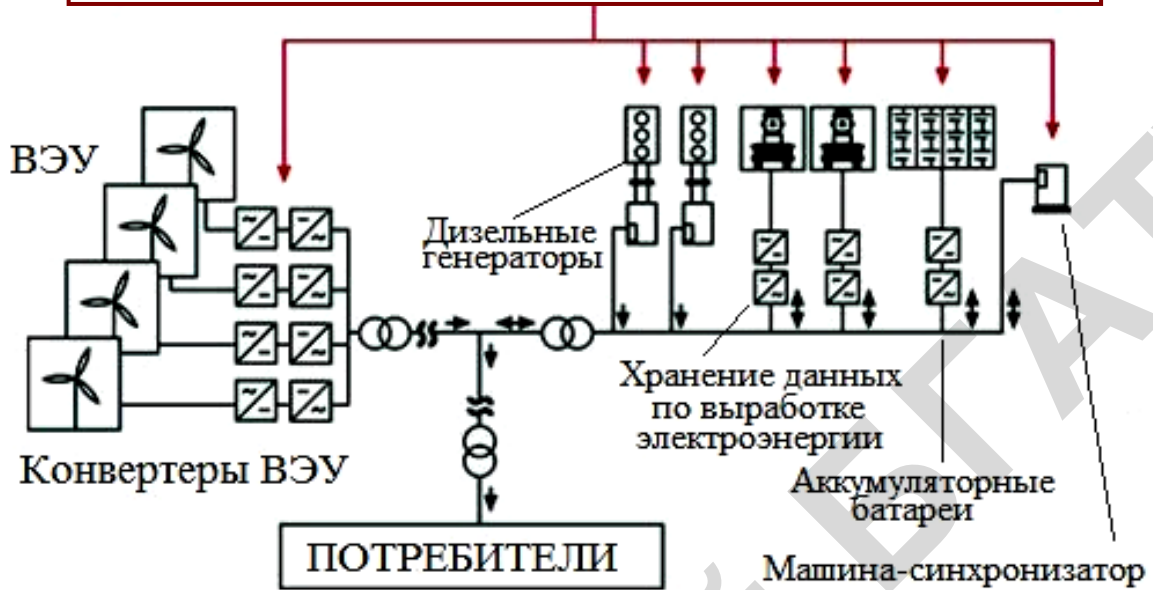
Основные элементы современной ВЭУ и их назначение

Элемент ВЭУ, название		Назначение указанного элемента и дополнительные характеристики
Англ. яз.	Рус. яз.	
Anemometer	Анемометр	Измеряет скорость ветра и передает данные скорости контроллеру
Blades	Лопаст	Большинство турбин имеет две или три лопасти. Ветер, проходящий сквозь лопасти, заставляет их «взлетать» и вращаться
Brake	Тормоз	Дисковый тормоз с механическим, электрическим или гидравлическим приводом для остановки ротора в критических ситуациях
Controller	Контроллер	Управляющий контроллер запускает машину на скоростях ветра приблизительно 8—16 миль/ч и отключает машину приблизительно при 55 миль/ч. Турбины не работают на скоростях ветра выше 55 миль/ч, потому, что сильный ветер может их разрушить
Gear Box	Коробка передач	Механически соединяет низкоскоростной вал турбины с высокоскоростным, увеличивая скорость вращения с 30—60 до 1000—1800 об/мин, то есть до скорости, требуемой большинству генераторов для выработки электроэнергии
Generator	Генератор	Обычно стандартный индукционный генератор, который вырабатывает электроэнергию переменного тока частотой 50 Гц или 60 Гц (для США)
High-speed shaft	Высокоскоростной вал	Приводит в действие генератор
Low-speed shaft	Низкоскоростной вал	Ротор вращает этот вал со скоростью порядка 30—60 об/мин
Nacelle	Гондола	Гондола находится на верху башни и содержит в себе коробку передач, низко и высокоскоростной валы, генератор, управляющий контроллер и тормоз
Pitch	Разворот лопастей	Лопаст

Элемент ВЭУ, название		Назначение указанного элемента и дополнительные характеристики
Англ. яз.	Рус. яз.	
Rotor	Ротор	Лопасты и ступица вместе
Tower	Башня	Башни сделаны из стальной трубы, бетона или имеют ажурную конструкцию
Wind direction	Направление ветра	Есть так называемые турбины «против ветра», потому, что при работе они повернуты «лицом» к ветру. Другие турбины разработаны, чтобы работать с «подветренной» стороны, отворачиваясь от ветра
Wind Vane	Флюгер	Определяет направление ветра и передает данные в управляющий контроллер для ориентации турбины в соответствии с направлением ветра
Yaw drive	Привод гондолы	Турбины типа «против ветра» должны быть направлены на ветер и привод гондолы используется для коррекции направления ротора при изменениях направления ветра. «Подветренные» турбины не требуют привода ротора, так как ветер дует им в «спину»

а)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ENERSON



б)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ENERSON

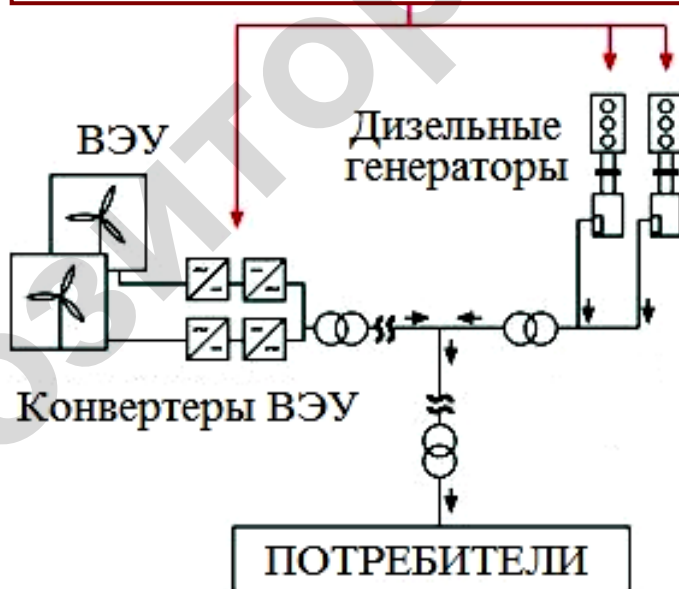


Рис. П 1. Работа ВЭС в энергосистеме «ВЕТРО-ДИЗЕЛЬ»:
а) типовая; б) упрощенная

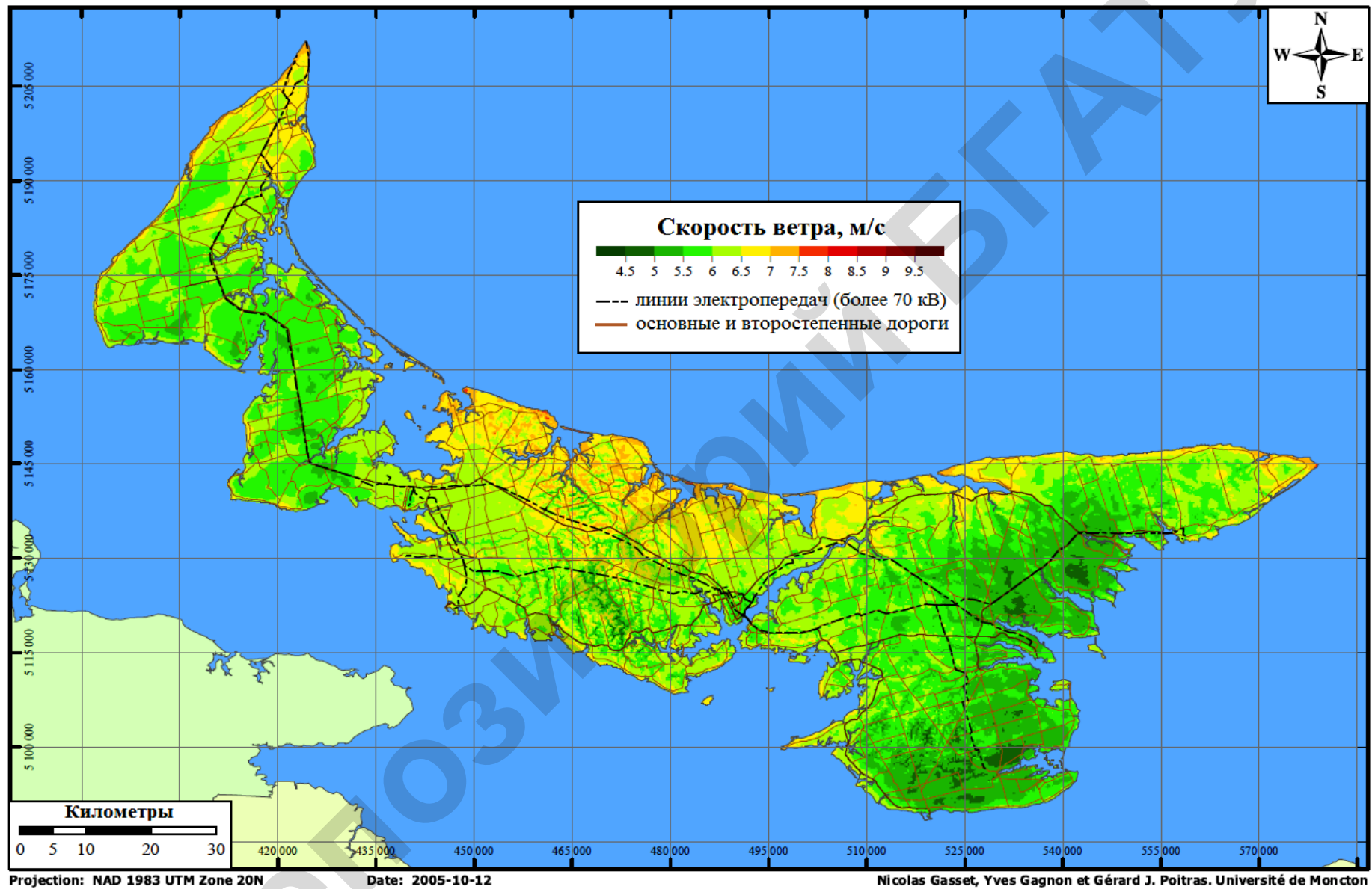


Рис. П. 4.1. Карта распределения скоростей ветра на высоте 30 м от земли на острове Принца Эдуарда (Канада)

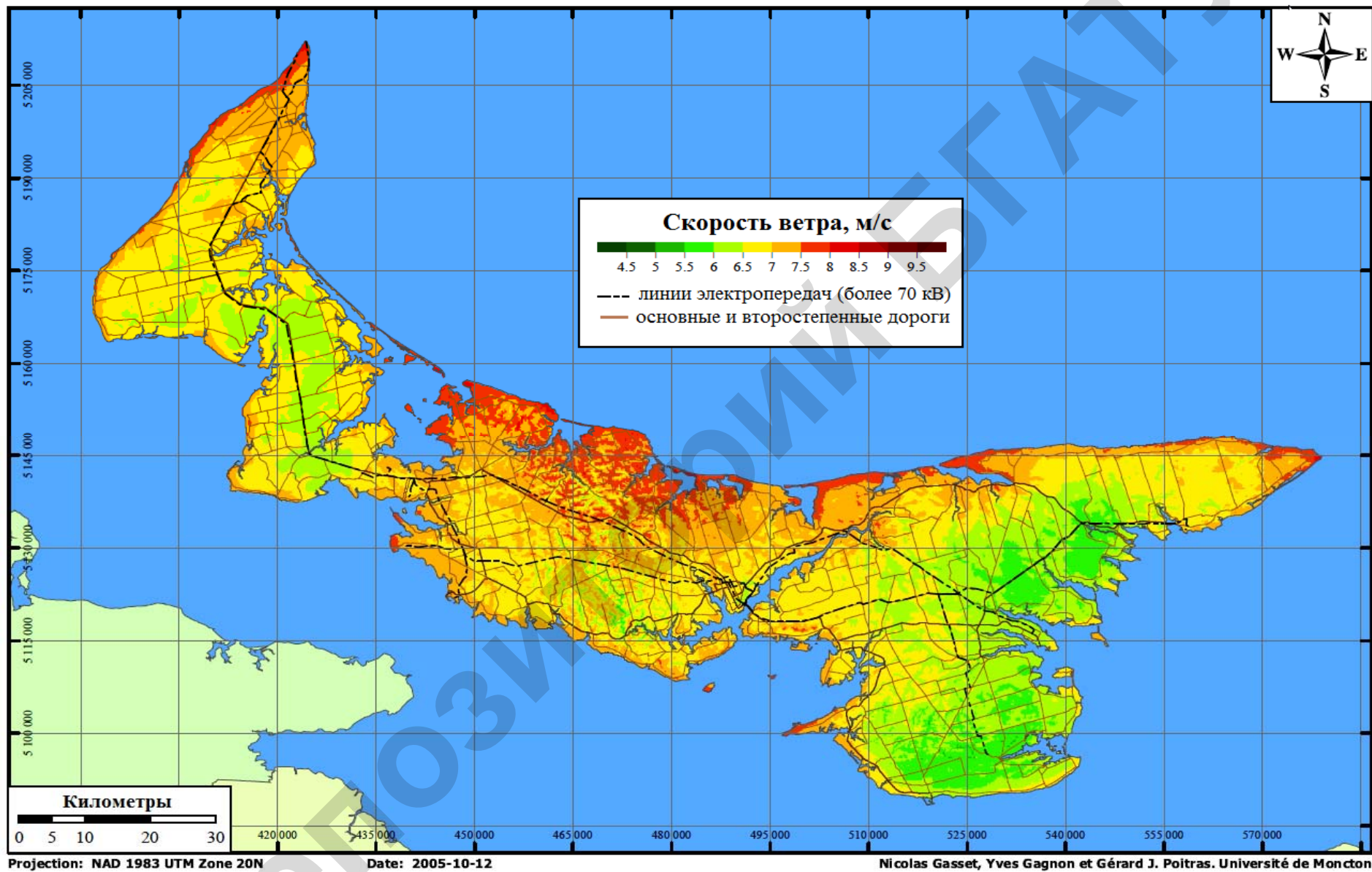


Рис. П. 4.2. Карта распределения скоростей ветра на высоте 50 м от земли на острове Принца Эдуарда (Канада)

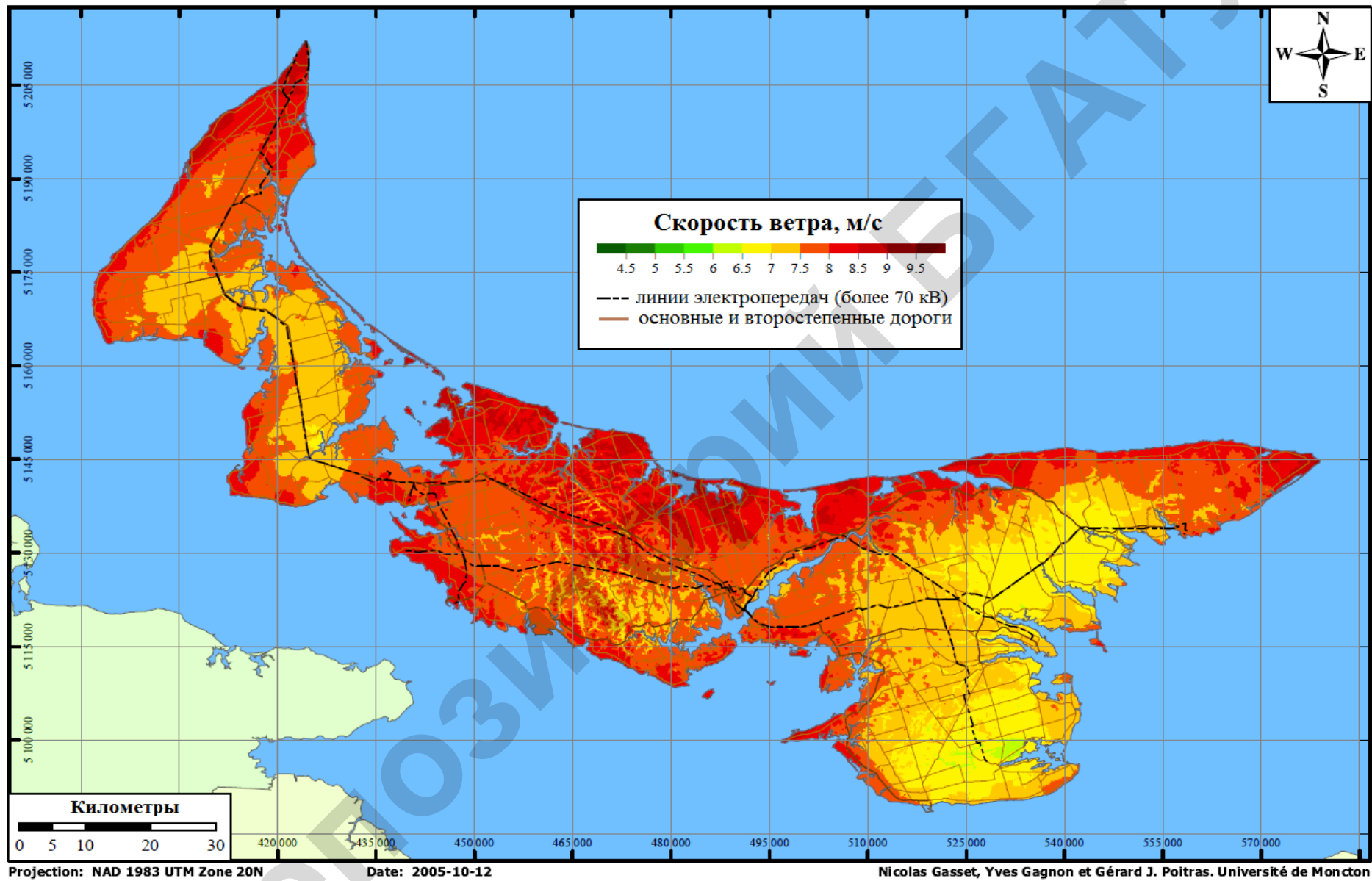


Рис. П. 4.3. Карта распределения скоростей ветра на высоте 80 м от земли на острове Принца Эдуарда (Канада)

УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ ВЭУ, МВт

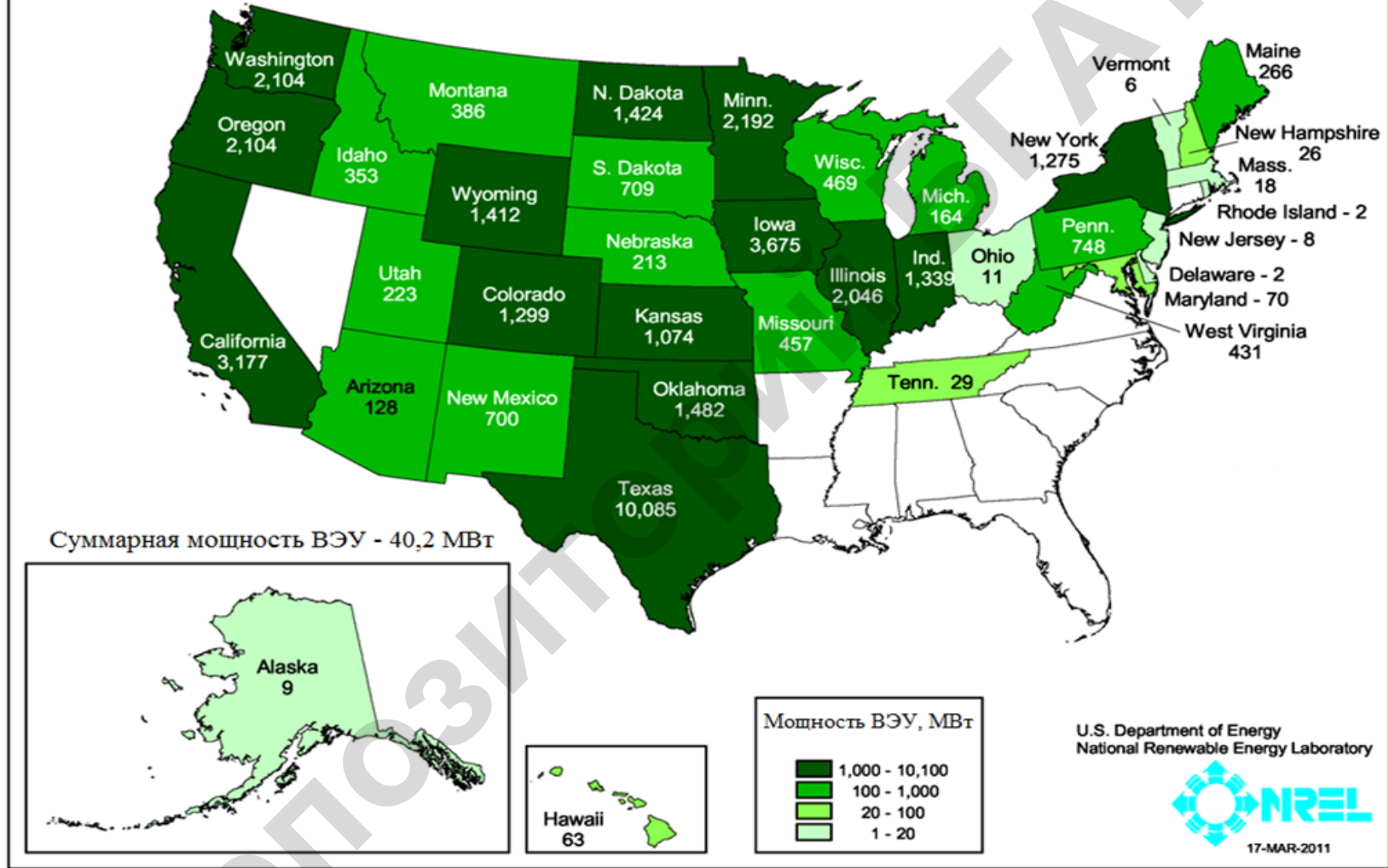


Рис. П. 5.1. Карта распределения установленных мощностей ВЭУ по штатам США на период конца 2010 г.

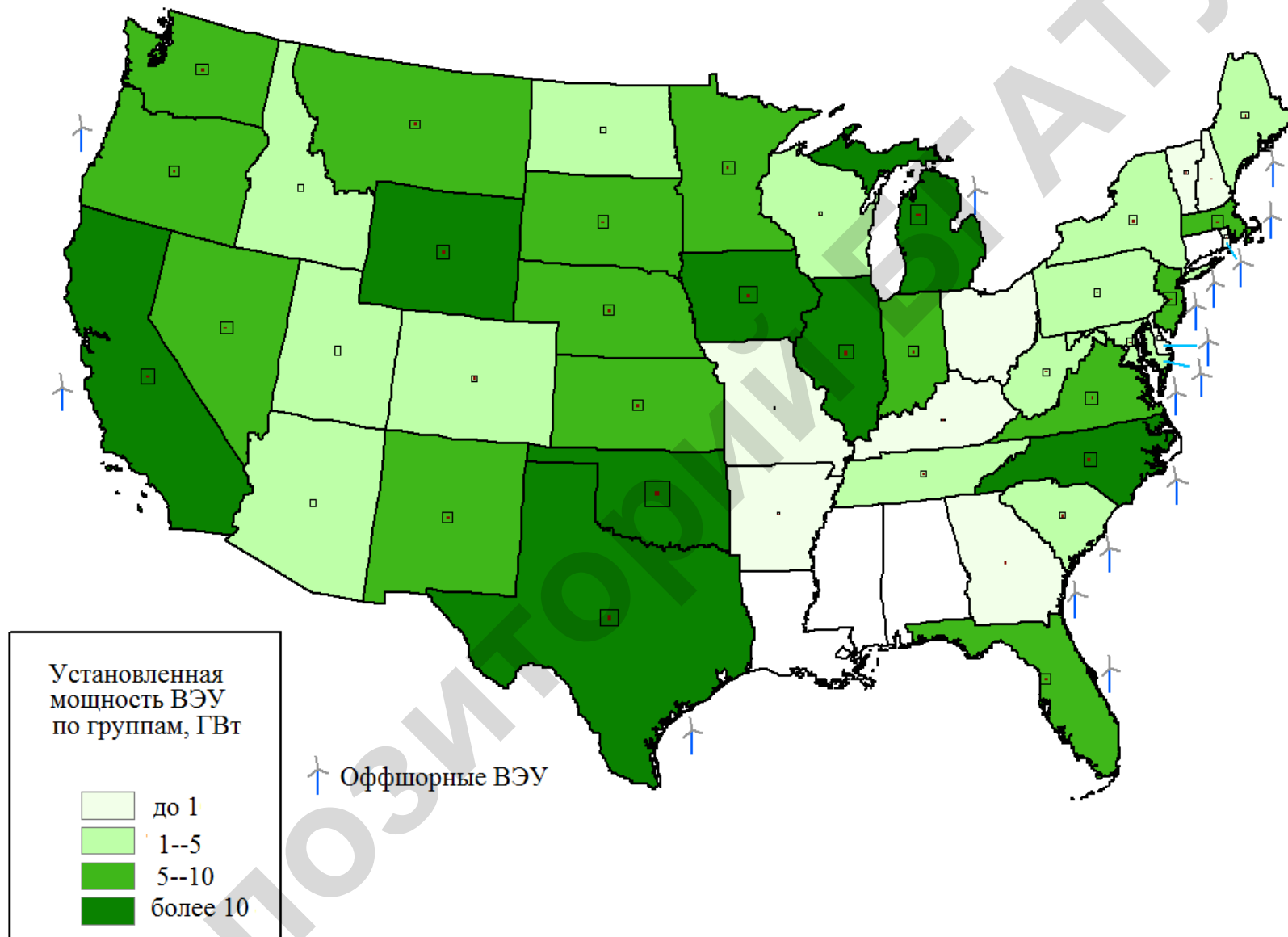


Рис. П. 5.2. Карта распределения установленных мощностей ВЭУ по штатам США на период до 2030 г. (прогноз)

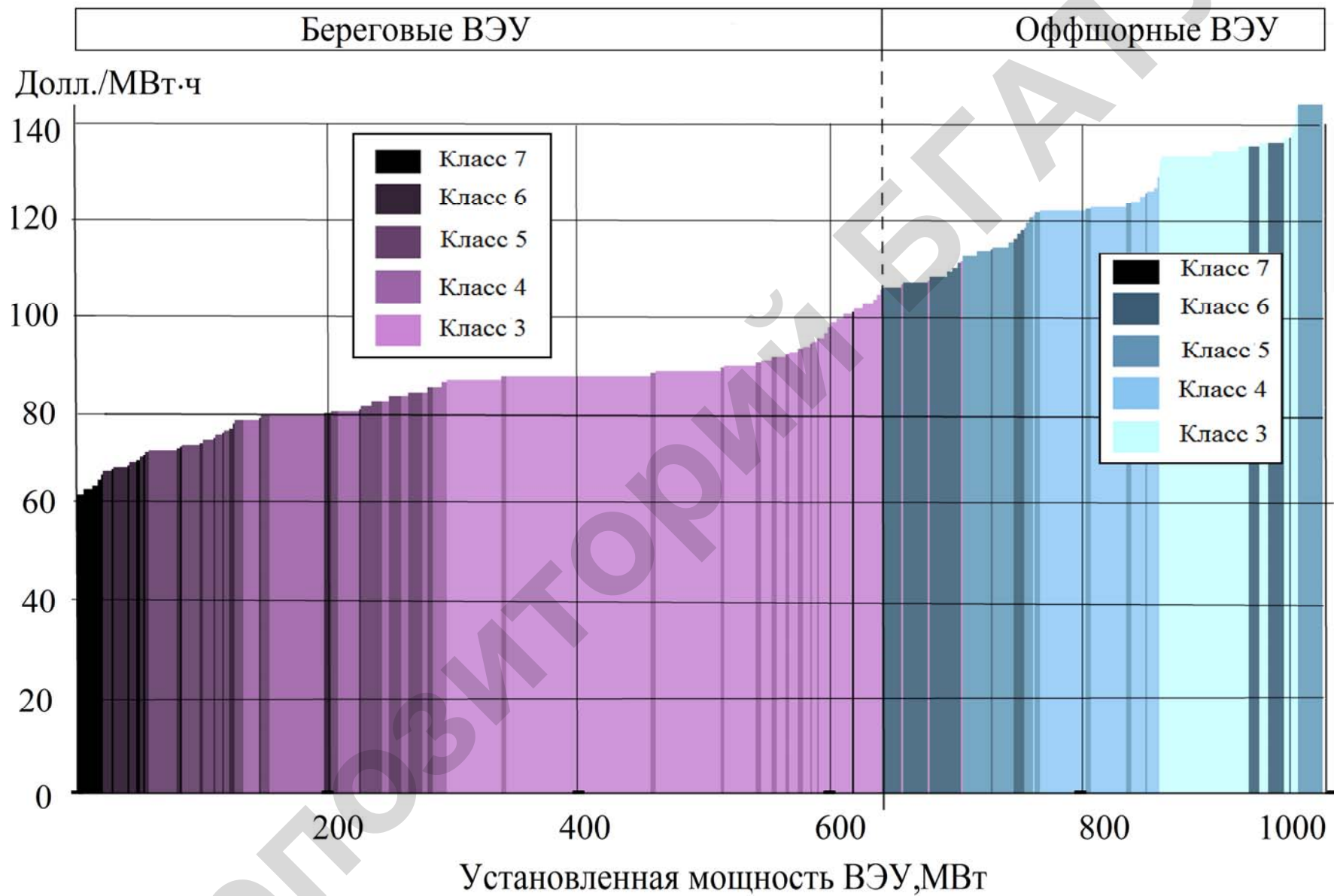


Рис. П. 5.3. Удельная стоимость электроэнергии, вырабатываемой на ВЭУ США, на период конца 2010 г.

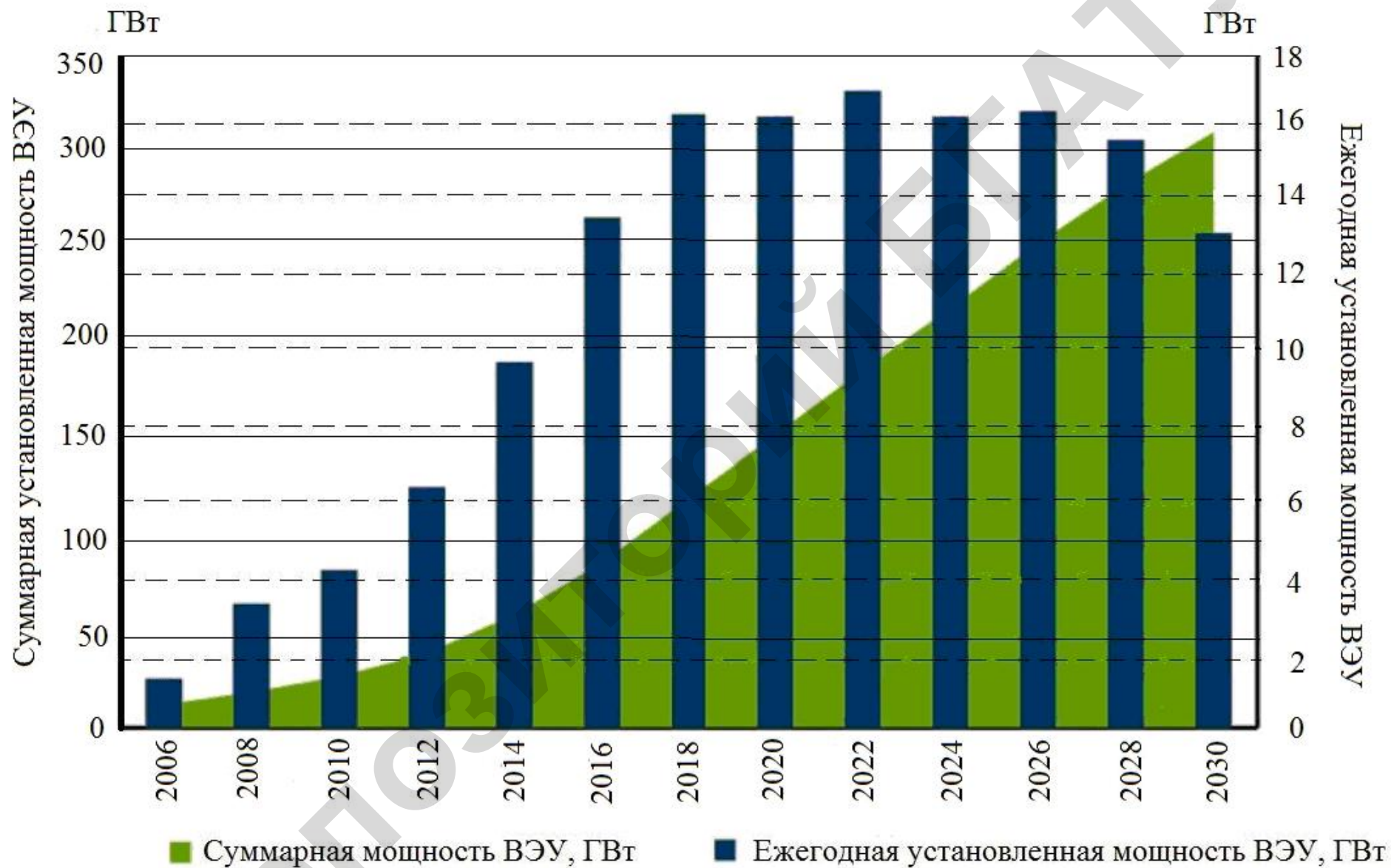


Рис II. 5.4. Ежегодная и суммарная установленная мощность ВЭУ США до 2030 г. (прогноз)

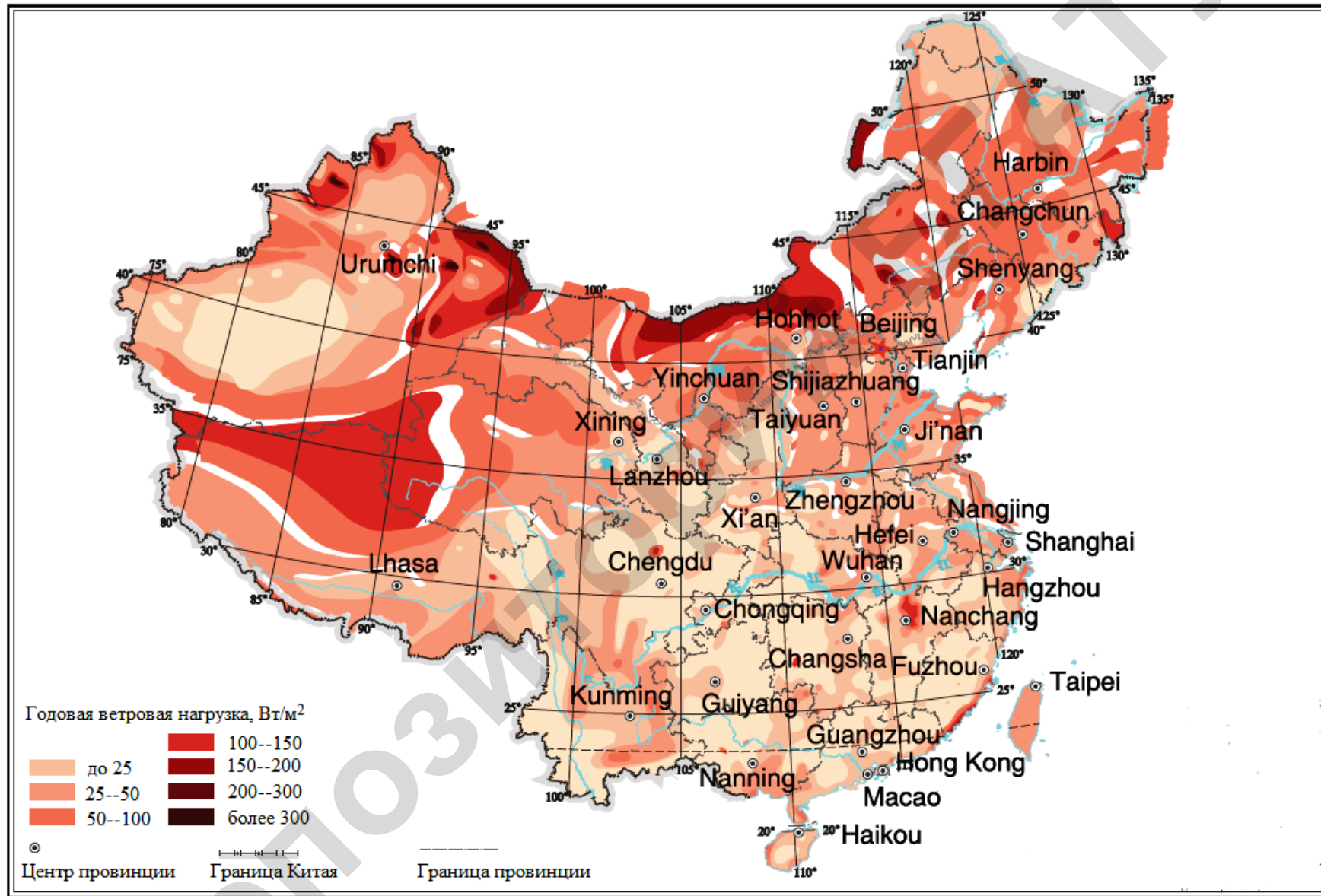


Рис. П. 6.1. Карта распределения ветровой нагрузки по провинциям Китая (на высоте 10 м от земли)

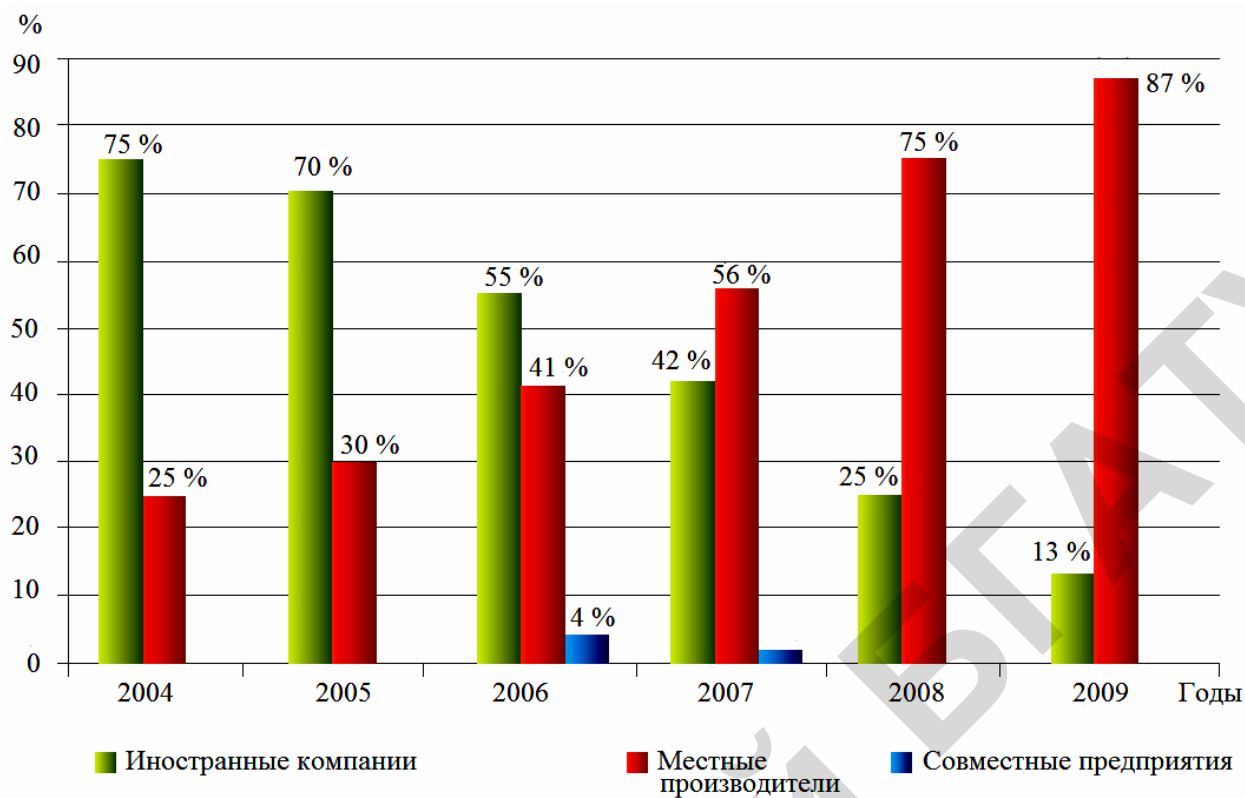


Рис. П. 6.2. Участие различных компаний в развитии ветроэнергетики Китая

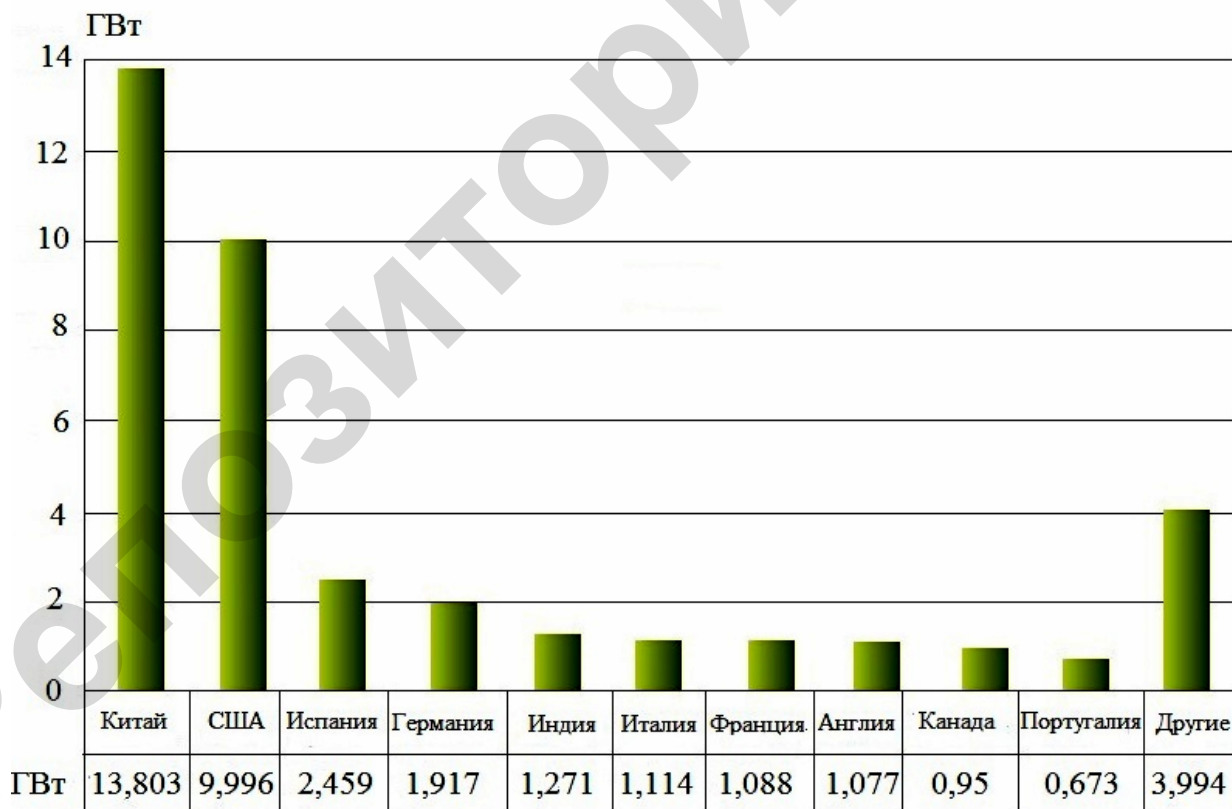


Рис. П. 6.3. Вновь установленные мощности ВЭУ по странам мира в 2009 г.

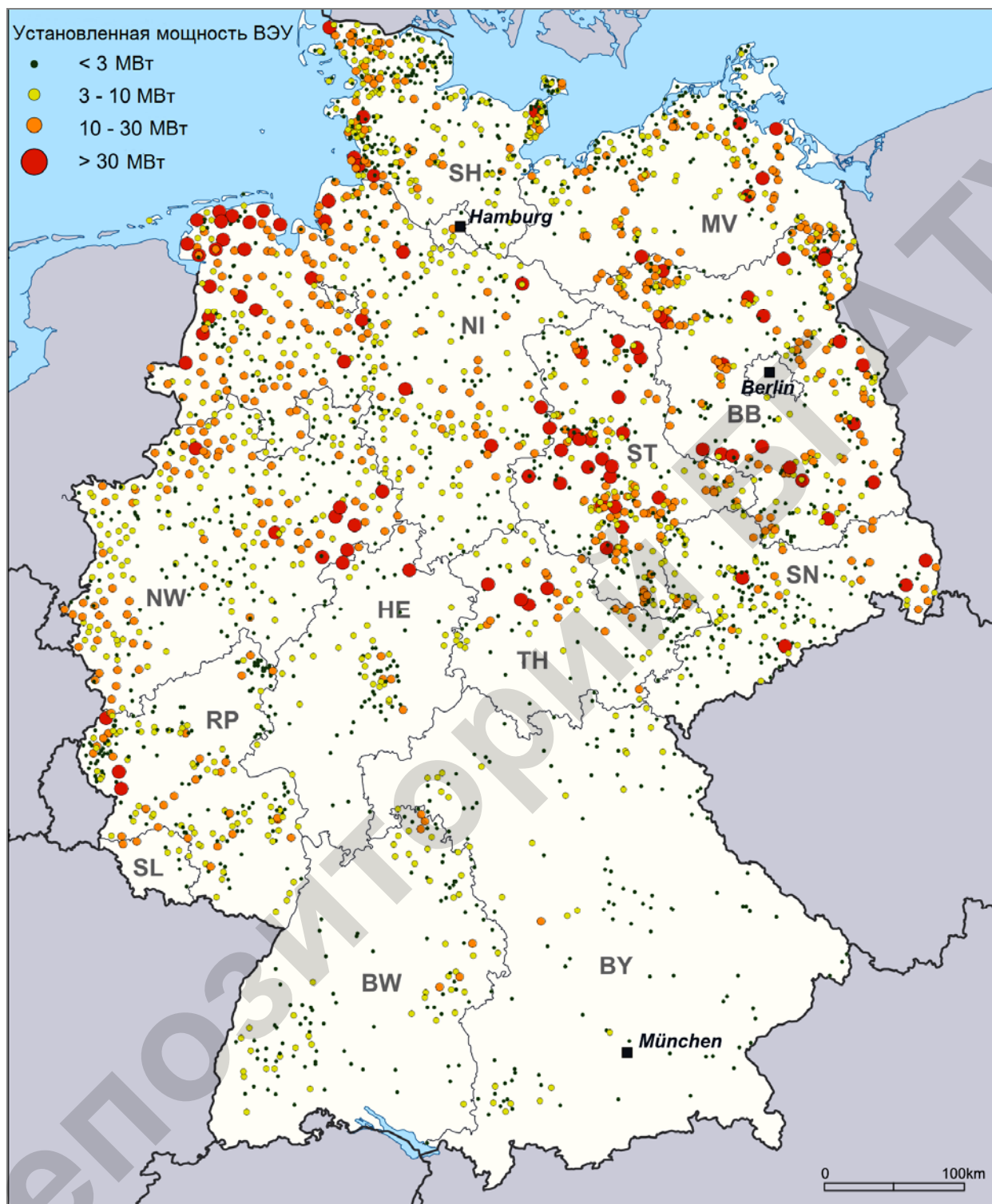


Рис. П. 7.1. Карта размещения ВЭУ на территории Германии (по состоянию на 2009 г.)

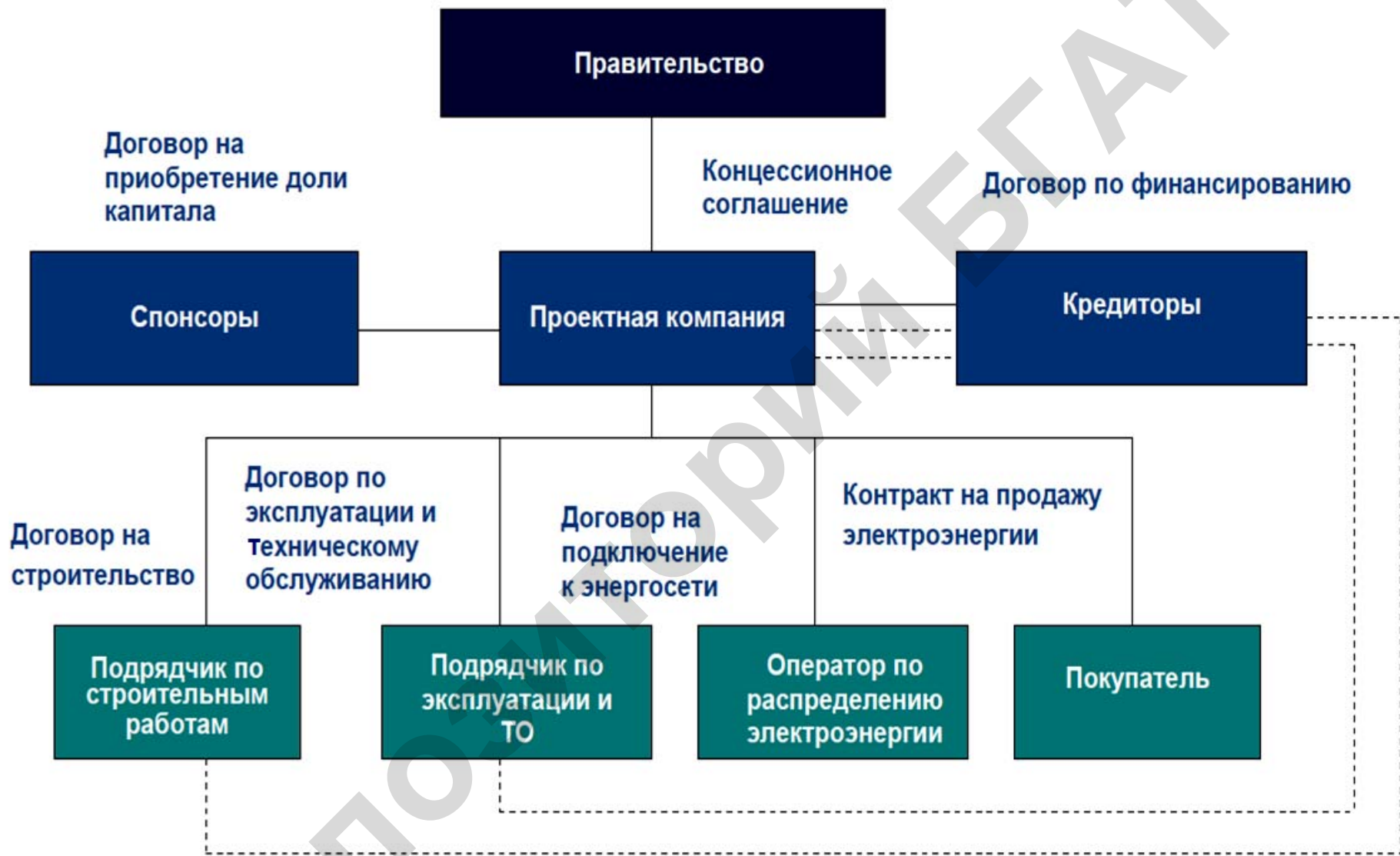


Рис. П. 8.1. Структура Украинского государственного ветроэнергетического проекта

Вибрационные ветровые панели как альтернатива ветровым турбинам

Для получения электрической энергии исследователи нашли нетрадиционный путь преобразования энергии ветра с помощью вибрационных пьезоэлектрических преобразователей, которые дешевле, занимают меньше места и проще в обслуживании. Такие панели, подобно солнечным батареям, будут устанавливаться на верхней части здания.

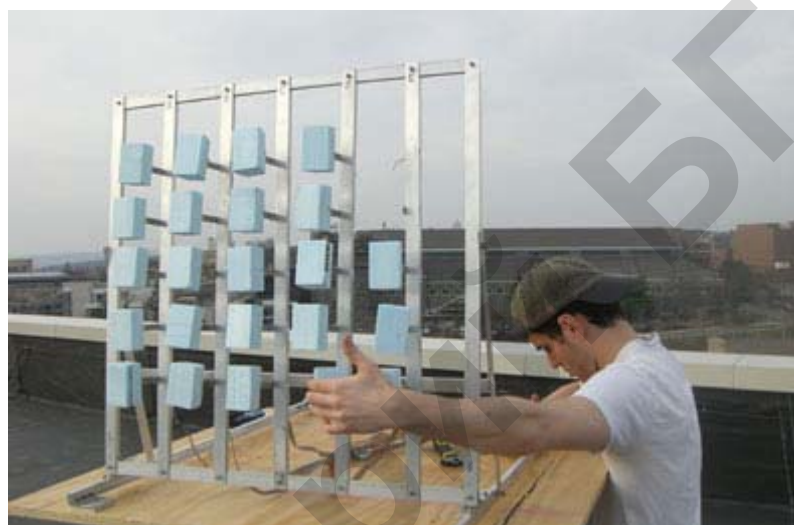


Рис. П. 9.1. Общий вид экспериментальной установки, расположенной на крыше здания

Энергия вибрации — это та же самая энергия, которая вызывает дрожание листьев на деревьях от ветра. Преобразователь энергии выполняется из керамики, или даже из полимера. Действует он на принципе эмиссии электронов при механическом сжатии. О виброэнергетике известно давно, однако правительства и политики до сих пор не уделяли ее совершенствованию должного внимания. Но этот способ получения электроэнергии можно считать идеальным, поскольку отличается чистотой и отсутствием каких-либо минимальных выбросов в окружающую среду.

После завершения этот проект может обеспечить электроснабжение жилых домов экологически чистой энергией. Кроме того, в будущем такая технология может быть использована и в других приложениях. Например, инженеры гражданского строительства могут использовать энергию от виброветровых панелей для питания датчиков пожарной сигнализации.

Учебное издание

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Пособие

Составители:

Коротинский Виктор Андреевич,
Гаркуша Карина Эдуардовна

Ответственный за выпуск В. А. Коротинский
Редактор В. А. Гошко
Компьютерная верстка В. А. Гошко

Подписано в печать 18.01.2012 г. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 16,27. Уч.-изд. л. 6,36. Тираж 130 экз. Заказ 57.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.