

УДК 620.92(477)

Р.Д. Мингалеева, магистрант; В.С. Зайцев, магистрант; В.В. Бессель, профессор, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России

Работа является промежуточным результатом исследований, проводимых в рамках совместной программы магистерской подготовки «Энергосберегающие технологии для газотранспортных систем» РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина и Королевским технологическим университетом (Стокгольм, Швеция). Как уже было показано в опубликованных ранее работах, Россия является одним из мировых лидеров по внутреннему энергопотреблению, причем эффективность энергопотребления крайне невысока [1, 2]. Это своего рода энергетическая плата за огромную территорию, занимаемую Россией, 70% которой находится в северных и арктических широтах. С другой стороны, наша огромная территория является нашим же конкурентным преимуществом. Ниже предлагается методика оценки технического, т.е. с использованием существующих на сегодняшний день средств, потенциала России в области применения двух наиболее широко распространенных в мире источников возобновляемой энергии – энергии ветра и энергии солнца.

Ключевые слова: ВВП, энергопотребление, удельное энергопотребление, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, эффективность энергопотребления, энергия ветра, ветроколесо, солнечная энергия, уровень инсоляции.

Энергосбережение для России является одной из актуальнейших задач наряду со структурной перестройкой экономики. Основными путями реализации программы энергосбережения в стране являются:

- 1) внедрение энергосберегающих технологий во всех отраслях экономики и коммунального хозяйства страны;
- 2) перестройка и оптимизация энергетической инфраструктуры с внедрением самых современных систем распределения электроэнергии, транспортировки газа, нефти и нефтепродуктов, а также тепла.

Предварительные оценки показывают [3], что для проведения всего необходимого комплекса мероприятий по энергосбережению потребуются колоссальные затраты материальных и финансовых ресурсов и большое количество времени, которого у нас

фактически нет [2]. При этом совершенно не очевидны значимые для общего уровня энергопотребления страны результаты: пока нет ни одного исследования, опубликованного в открытой печати, которое бы показывало тот энергетический и экономический эффект, который мы ожидаем от внедрения программ энергосбережения. В этой связи весьма перспективно начать работы по вовлечению в баланс энергопотребления страны возобновляемых источников энергии, справедливо предполагая, что наша огромная территория даст неопределимые конкурентные преимущества перед остальными странами мира. Для этого прежде всего требуется оценить технические, т.е. реализуемые существующими на настоящий момент средствами, ресурсы обоих видов энергии.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Ниже представлена методика расчета технического потенциала ветровой энергетики России. В расчетах использовались данные, приведенные в таблице 1.

На рисунке 1 представлена карта распределения среднегодовой скорости ветра на территории РФ [5].

С помощью программы Universal Desktop Ruler [6] находим площадь, где преобладает та или иная скорость ветра, в процентах от общей площади территории России, что представлено в виде диаграммы на рисунке 2.

Территории с преобладанием скорости ветра менее 4 м/с (0,12% территории России) не рассматриваем в расчете вообще, так как ВЭУ начинает работать при минимальной скорости ветра 3 м/с

и более [7]. Таким образом, практически вся территория России пригодна для использования ветроэнергетических установок.

Площадь, на которой рассчитывается технический потенциал ветроэнергетики, определяется по соотношению:

$$S_T = q \cdot S_{\text{России}} \quad (1)$$

где S_T – площадь, на которой рассчитывается технический потенциал, м²; q – площадь в процентах от общей площади территории России, где преобладает необходимая скорость ветра, % (рис. 2);

$S_{\text{России}}$ – суммарная площадь территории России, м² (табл. 1).

Определяем мощность ВЭУ при заданной скорости ветра и диаметре ветроколеса по соотношению [7]:

$$P_{\text{ВЭУ}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot D^2 \cdot C_p \cdot \rho \cdot V^3 \cdot (\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}) \quad (2)$$

где $P_{\text{ВЭУ}}$ – установленная мощность ВЭУ, Вт;

D – диаметр ветроколеса, м (табл. 1);

V – скорость ветра, м/с (табл. 1);

ρ – плотность воздуха, кг/м³ (табл. 1);

C_p – коэффициент использования энергии ветрового потока (табл. 1);

$\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}$ – суммарный КПД механических (редуктор, подшипники и т.п.) и электрических (генератор, трансформатор и т.п.) элементов силового тракта ВЭУ (табл. 1).

Рассчитываем работу, вырабатываемую ВЭУ, в ГВт·час/год:

$$W_{\text{ВЭУ}} = P_{\text{ВЭУ}} \cdot 8760, \quad (3)$$

где $P_{\text{ВЭУ}}$ – установленная мощность ВЭУ, Вт;

$T = 8760$ часов – число часов в году.

Очень важно остановиться на выборе схемы размещения ВЭУ. На небольших ВЭС, включающих от двух до четырех ВЭУ, ветровые турбины располагаются на одной прямой линии, перпендикулярной к преобладающему направлению ветра. Расстояние между турбинами измеряется в диаметрах ветроколеса, так как аэродинамическое затенение зависит от его размера. Общее правило размещения ВЭУ следующее: устанавливаются ВЭУ на расстоянии

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Диаметр ветроколеса – D, м	50–100 м с шагом 10 м
Среднегодовая скорость ветра, м/сек	по регионам, исходя из имеющейся в открытой печати информации [5]
Площадь, занимаемая одной ВЭУ, м ²	определяется в зависимости от диаметра ветроколеса D
Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ, $K_{\text{загр}}$	Задается исходя из реальных эксплуатационных данных
Плотность воздуха – ρ , кг/м ³	1,225
Коэффициент использования энергии ветрового потока – C_p [7]	0,45
Суммарный КПД механических и электрических элементов силового тракта ВЭУ – $\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}$ [7]	0,9
Суммарная площадь территории России, м ²	$17,098 \cdot 10^{12}$
Суммарное энергопотребление в России – $W_{\text{потребл}}$, ГВт·час/год [4]	$8,074 \cdot 10^6$



Рис. 1. Карта распределения среднегодовой скорости ветра на территории РФ

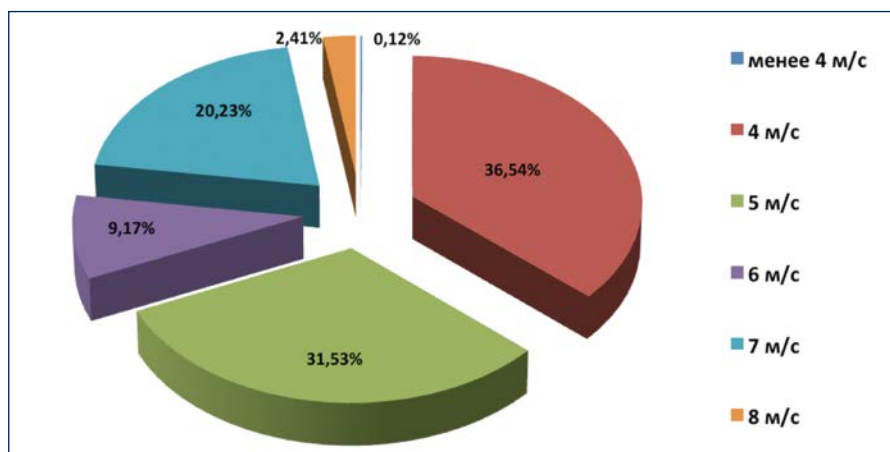


Рис. 2. Диаграмма распределения территории России по среднегодовой скорости ветра

5 диаметров ветроколеса друг от друга, если они размещены в один ряд. Более крупные ВЭС могут иметь несколько рядов ВЭУ. В этом случае расстояние между рядами обычно составляет

7 диаметров ветроколеса (рис. 3 и 4) [8, 9]. Эта идеальная модель для размещения ВЭУ может быть применена в открытой и равнинной местности или на офшорных ВЭС.

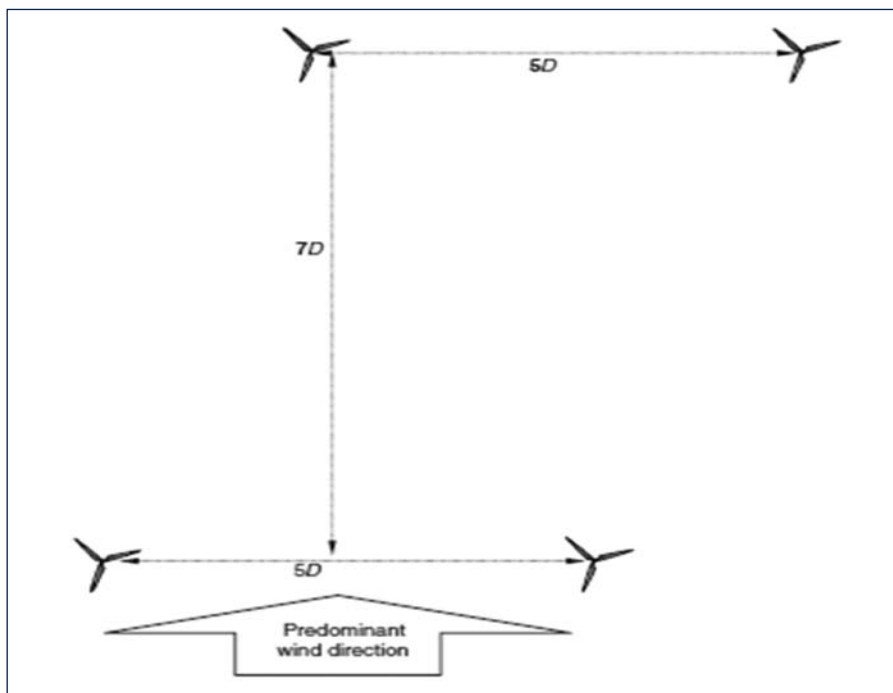


Рис. 3. Модель ВЭС



Рис. 4. ВЭС, расположенная на острове Эланд в Швеции рядами перпендикулярно преобладающему направлению ветра

Таблица 2. Количество ветроустановок в зависимости от диаметра ветроколеса и суммарный технический потенциал России в ГВт час/год

D ветроколеса, м	Суммарное кол-во ВЭУ, которые могут быть установлены на территории РФ $N_{установок}$, шт.	Суммарный технический потенциал ветровой энергии W_r , ГВт·час/год
50	$1,952 \cdot 10^8$	$6,847 \cdot 10^7$
60	$1,355 \cdot 10^8$	$6,847 \cdot 10^7$
70	$9,958 \cdot 10^7$	$6,847 \cdot 10^7$
80	$7,624 \cdot 10^7$	$6,847 \cdot 10^7$
90	$6,024 \cdot 10^7$	$6,847 \cdot 10^7$
100	$4,879 \cdot 10^7$	$6,847 \cdot 10^7$

Фактическое расположение ВЭУ часто зависит от ограничений, таких как возможности землепользования, расстояние до жилых домов, дорог и электросети. Перепады высот на местности также будут влиять на расположение ВЭУ относительно друг друга. В районах, где доминируют один или два противоположных направления ветра, расстояние между ВЭУ в ряду может быть снижено до 3–4 диаметров ветроколеса [9]. Так как нами оценивался технический потенциал ветроэнергетики на всей территории России, мы не принимали никаких ограничений при расчетах и в качестве площадки рассматривали всю площадь страны, а в качестве схемы размещения ВЭУ была принята следующая схема: ВЭУ размещены в ряд, расстояние между ВЭУ в одном ряду составляет 5 диаметров ветроколеса (5·D), а расстояние между рядами – 7 диаметров ветроколеса (7·D) [9].

В результате принятых выше допущений определяем возможное количество ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра:

$$N_{установок} = \frac{S_T}{(7D \cdot 5D)}, \quad (4)$$

где $N_{установок}$ – возможное количество ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра, шт.;

S_T – площадь территории, на которой рассчитывается технический потенциал, м²;

$(7D \cdot 5D)$ – площадь, необходимая для одной ВЭУ, м².

Перемножив формулу (3) на (4) с учетом (1) и (2), определяем технический потенциал ветровой энергии в ГВт·час/год на каждой территории:

$$W_{ТехВЭУ} = W_{ВЭУ} \cdot N_{установок} \cdot K_{загр}, \quad (5)$$

где $W_{ТехВЭУ}$ – технический потенциал ветровой энергии, ГВт·час/год;

$K_{загр} = 0,5$ – коэффициент использования ВЭУ (принимается условно).

Результаты расчета приведены в таблице 2.

На рисунке 5 показана зависимость установленной мощности ВЭУ от диа-

метра ветроколеса и среднегодовой скорости ветра.

На рисунке 6 представлена зависимость количества ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра в зависимости от диаметра ветроколеса.

Как следует из расчетов, проведенных с использованием специально разработанных программ, суммарный технический потенциал России не зависит от диаметра колес ветроустановок и является величиной постоянной и равной значению **6,847·10⁷ ГВт·час/год**, что соответствует использованию примерно **6 млрд т н.э.** в год (~50% от общего энергопотребления в мире) [4].

Оценим, на какой части территории России достаточно разместить ветроэнергетические установки по принятой выше схеме размещения 5×7 диаметров ветроколеса, чтобы полностью компенсировать годовое энергопотребление страны. Внутреннее энергопотребление в России в 2012 г. составило **694,2 млн т н.э., или 8,074·10⁶ ГВт·час/год** [4]. Зная суммарное энергопотребление в России и технический потенциал ветровой энергии, можно определить площадь, необходимую для установки ВЭУ при заданном коэффициенте загрузки ВЭУ 50%:

$$S_{\text{ВЭУ}} = \frac{W_{\text{потребл}}}{W_{\text{T}}} \cdot S_{\text{России}} \quad (6)$$

где $S_{\text{ВЭУ}}$ – площадь территории (поверхности суши) России, необходимой для установки всех ВЭУ, км²;

$W_{\text{потребл}}$ – суммарное энергопотребление в России, ГВт·час/год;

W_{T} – технический потенциал ветровой энергии, ГВт·час/год;

$S_{\text{России}}$ – суммарная площадь территории (поверхности суши) России, км².

Подставив полученные ранее значения в формулу (6), получаем, что размещение ветроэнергетических установок на территории в 11,8% территории России (чуть более 2 млн км²) полностью смогло бы компенсировать все внутреннее энергопотребление страны в 2012 г. при коэффициенте загрузки каждой ВЭУ не более 50% и коэффициенте использования ветрового потока 0,45.

Таблица 3. Исходные данные для расчета

Средняя скорость ветра в прибрежной зоне России, м/с [5]	12
Диаметр ветроколеса, м [9]	90–130 м с шагом 10 м
Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ, $K_{\text{загр}}$	задается
Плотность воздуха, ρ , кг/м ³	1,225
Коэффициент использования энергии ветрового потока, C_p [7]	0,45
Суммарный КПД механических и электрических элементов силового тракта ВЭУ, $\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{эл}}$ [7]	0,9
Общая длина северной и восточной морских границ России, L , км [10]	36 722

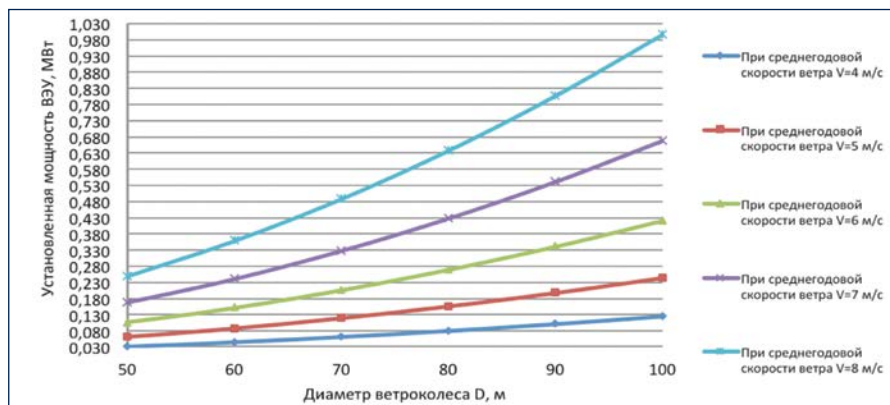


Рис. 5. Установленная мощность ВЭУ (Pвэу) в зависимости от среднегодовой скорости ветра (V, м/с) и диаметра ветроколеса (D, м)

Таблица 4. Количество ветроустановок в зависимости от диаметра ветроколеса и суммарный технический потенциал ветроэнергетики в прибрежной зоне в ГВт час/год

D ветроколеса, м	Кол-во ВЭУ, которые могут быть установлены в прибрежной зоне, шт.	Технический потенциал ветровой энергии в прибрежной зоне России, ГВт·час/год
90	45 336	5,412·10 ⁵
100	40 802	6,014·10 ⁵
110	37 093	6,615·10 ⁵
120	34 002	7,216·10 ⁵
130	31 386	7,818·10 ⁵

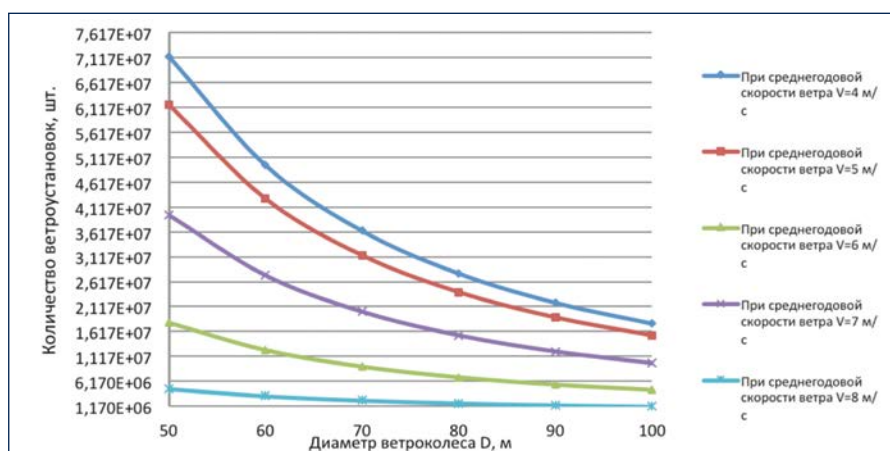


Рис. 6. Количество ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра в зависимости от скорости ветра (V, м/с) и диаметра ветроколеса (D, м)

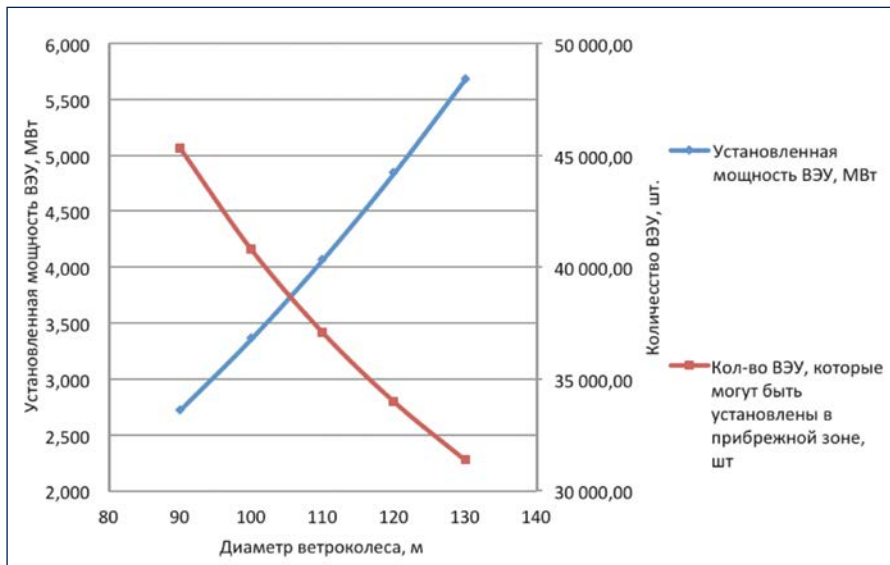


Рис. 7. Установленная мощность ВЭУ ($P^{ВЭУ}$) и возможное количество ветроустановок ($N_{установок}$) в прибрежной зоне России в зависимости от диаметра ветроколеса (D , м) при заданной скорости ветра ($V=12$ м/с)

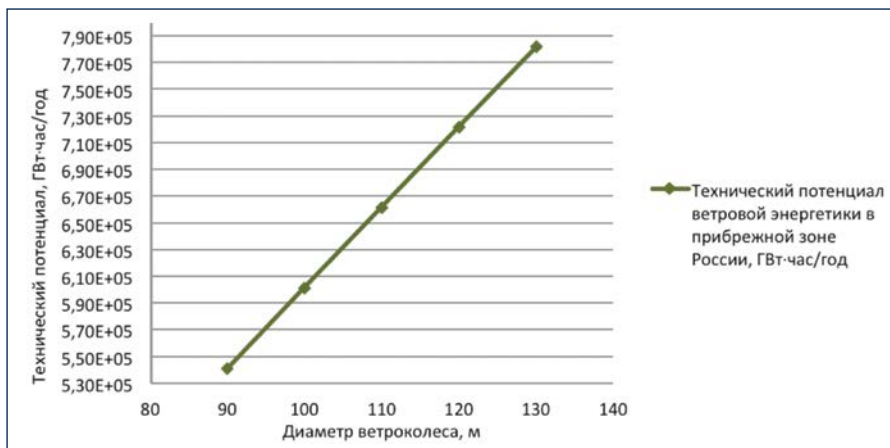


Рис. 8. Зависимость технического потенциала ВЭУ в прибрежной зоне России от диаметра ветроколеса (D , м) при заданной скорости ветра ($V=12$ м/с)

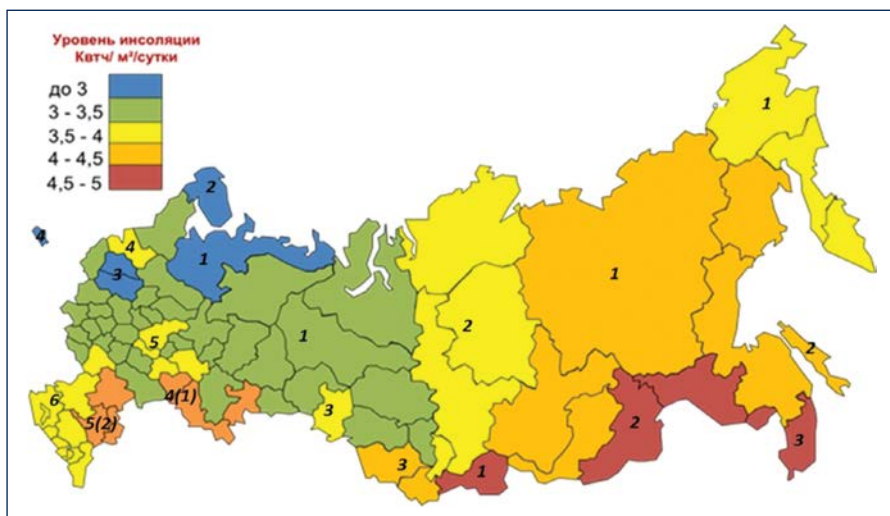


Рис. 9. Уровень инсоляции по зонам на территории РФ

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ РОССИИ

Отдельно рассчитаем потенциал ветровой энергии в прибрежной зоне России (без учета береговых линий Каспийского, Азовского, Черного и Балтийского морей, где места для установки ВЭУ на порядок меньше, чем прибрежная зона Северных и Восточных морей) по вышеуказанной методике. Исходные данные для расчета сведены в таблицу 3. В качестве схемы размещения ВЭУ была выбрана следующая схема: ВЭУ размещены в ряд, расстояние между ВЭУ в одном ряду составляет 6 диаметров ветроколеса, а расстояние между рядами – 9 диаметров ветроколеса (обычно данное расстояние составляет 8–10 диаметров ветроколеса) [9]. В данном расчете предусматривается, что вдоль северной и восточной морских границ России размещено по одной ветроустановке в ряду, расстояние между ВЭУ составляет 9 диаметров ветроколеса. Определяем возможное количество ветроустановок в каждой зоне распределения среднегодовой скорости ветра по формуле:

$$N_{установок} = \frac{L}{(9D)}, \quad (7)$$

где L – общая длина северной и восточной морских границ России, м; $(9 \cdot D)$ – расстояние между ветроустановками вдоль северной и восточной морских границ России, м.

Результаты расчета технического потенциала ветровой энергии в прибрежной зоне России и возможное количество ветроустановок, которые могут быть установлены в прибрежной зоне вдоль северной и восточной морских границ, в зависимости от диаметра ветроколеса и заданной среднегодовой скорости ветра, $V=12$ м/с, в прибрежной зоне приведены в таблице 4.

На рисунке 7 показана рассчитанная зависимость установленной мощности ВЭУ и количества ветроустановок в прибрежной зоне России.

Именно в прибрежной зоне России возможно отбирать максимальную удельную мощность (от 2,5 до 5,7 МВт) с каждой ветроустановки в зависимости от диаметра ветроколеса.

На рисунке 8 представлена зависимость технического потенциала ВЭУ в прибрежной зоне России от диаметра ветроколеса при заданной среднегодовой скорости ветра.

Расчетные показатели технического потенциала ВЭУ в прибрежной зоне России практически линейно зависят от диаметра ветроколеса и увеличиваются с ростом диаметра.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ РОССИИ

В одной из последних статей, касающихся солнечной энергетики в России, опубликованной в феврале 2012 г. на сайте государственной информационной системы в области энергоснабжения и повышения энергетической эффективности, сказано: «По данным Института энергетической стратегии, теоретический потенциал солнечной энергетики в России составляет более 2300 млрд т условного топлива» [11], что составляет **18,72·10⁹ ГВт·ч/год**. Тем не менее проведем оценку как теоретического, так и технического потенциала солнечной энергетики. На карте, приведенной на рисунке 9, показан уровень инсоляции по зонам на территории России [12].

Как следует из карты, минимальный уровень инсоляции можно принять за 3 Квт·ч/м²/сутки, максимальный – 5 Квт·ч/м²/сутки. Так как нельзя полагаться полностью на достоверность карты, приведенной на рисунке 9 (по крайней мере, границы между зонами инсоляции весьма условны), определим минимальные и максимальные границы значений теоретического потенциала солнечной энергетики России.

Для определения минимальной границы теоретического потенциала следует принять инсоляцию во всех зонах равной 3 Квт·ч/м²/сутки. Тогда оценочное минимальное значение теоретического потенциала солнечной энергетики России, рассчитанное по формуле:

$$I_{\text{год, min}} = I_{\text{день}} \cdot 365 \cdot S_{\text{рф}} \quad (8)$$

будет равно **18,72·10⁹ ГВт·ч/год**.

Для определения максимального теоретического потенциала следует при-

Таблица 5. Расчетные значения теоретического потенциала солнечной энергии по зонам на территории России

Уровень инсоляции, КВт·ч/м ² /сутки	Площадь, млн км ²	Теоретический потенциал в год, 10 ⁹ ГВт·ч	Удельный теоретический потенциал в год, 10 ³ ГВт·ч/км ²
<3	0,826	0,9	1,09
3–3,5	4,448	5,68	1,28
3,5–4	4,648	6,79	1,46
4–4,5	6,000	9,85	1,64
4,5–5	1,177	2,15	1,82
ВСЕГО	17,098	25,38	1,48

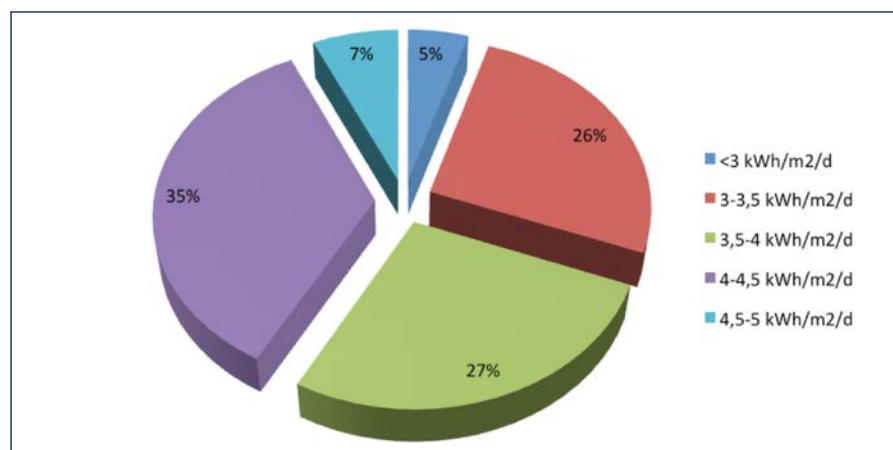


Рис. 10. Диаграмма распределения регионов России по среднесуточному уровню инсоляции

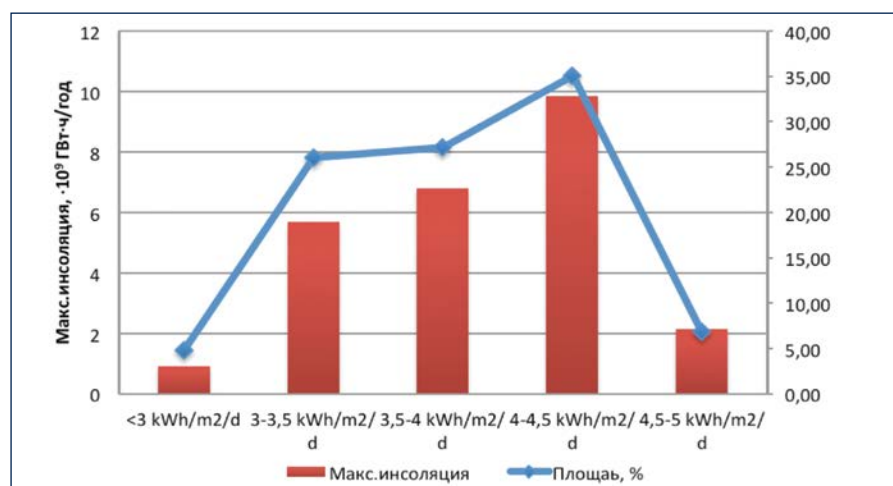


Рис. 11. График распределения теоретического потенциала солнечной энергетики по зонам России с различным уровнем инсоляции

нять инсоляцию во всех зонах равной 5 Квт·ч/м²/сутки. Рассчитав значение максимальной границы теоретического потенциала солнечной энергетики России по формуле (8), получим значение **31,21·10⁹ ГВт·ч/год**.

Теперь рассчитаем потенциал в строгом соответствии с приведенной картой.

Используя программу Universal Desktop Ruler [6], которая позволяет посчитать количество пикселей на каждом из участков карты, получим площади для каждой зоны с одинаковым уровнем инсоляции, после чего находим из отношений этих значений долю каждой территории в общей площади страны.

Таблица 6. Расчет технического потенциала солнечной энергетики России

Уровень инсоляции, КВт·ч/м ² /сутки	Теоретический потенциал 10 ⁹ ГВт·ч	КПД солнечных панелей	Коэффициент производительности солнечных батарей	Технический потенциал, 10 ⁹ ГВт·ч	Нефтяной эквивалент, млрд т
<3	0,90	0,20	0,30	0,05	4,64
от 3 до 3,5	5,68	0,20	0,30	0,34	29,30
от 3,5 до 4	6,79	0,20	0,50	0,68	58,38
от 4 до 4,5	9,85	0,20	0,60	1,18	101,63
от 4,5 до 5	2,15	0,20	0,70	0,30	25,88
ВСЕГО	25,37			2,56	219,85

Таблица 7. Площадь территории в каждой зоне инсоляции, необходимой для размещения солнечных панелей, для полного удовлетворения потребностей в энергии РФ на уровне 2012 г.

Уровень инсоляции, КВт·ч/м ² /сутки	Площадь территории, млн км ²	Часть территории, занимаемой PV-панелями	Площадь PV-панелей, тыс. км ²
<3	0,826	14,95%	123,50
от 3 до 3,5	4,448	2,37%	105,37
от 3,5 до 4	4,648	1,19%	55,27
от 4 до 4,5	6	0,68%	40,98
от 4,5 до 5	1,177	2,68%	31,57

На рисунке 10 показана полученная диаграмма распределения площадей территории России по среднесуточному уровню инсоляции.

Результаты расчета теоретического потенциала солнечной энергетики России по зонам, отмеченным на рисунке 9, сведены в таблицу 5.

Рассчитанное по зонам инсоляции значение теоретического потенциала солнечной энергетики в России равно **25,38·10⁹ ГВт·ч/год**, что несколько больше, но сопоставимо с оценкой, при-

веденной выше [11]. Если же проанализировать полученные значения удельного теоретического потенциала, т.е. солнечной энергии, падающей на км² территории страны за год, то видно, что почти 42% территории являются благоприятными зонами с уровнем удельного теоретического потенциала выше, чем в среднем по территории России. График распределения теоретического потенциала солнечной энергетики по площадям России представлен на рисунке 11.

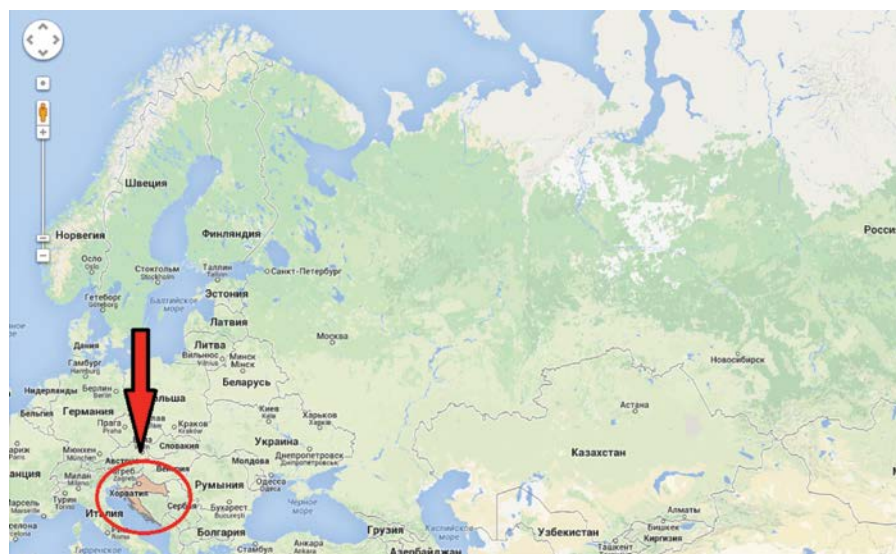


Рис. 12. Сопоставление территорий Хорватии и России

Технический потенциал находится из формулы для расчета количества электричества, генерируемого PV-панелями:

$$W_{pv} = S \cdot r \cdot H \cdot PR, \quad (9)$$

где: W_{pv} – энергия (Вт·ч);
 S – суммарная площадь участка (м²);
 r – КПД солнечной панели, колеблется в пределах 0,1–0,46, средний мировой уровень равен 0,2;

$H = \sum_{\text{день}} i_{\text{день}} \cdot 365$ – среднегодовой уровень инсоляции на наклоненных панелях, затенение не учитывается (Вт·ч/м²);
 PR – коэффициент производительности, является очень важным значением для оценки эффективности PV-панели, поскольку дает производительность установки независимо от ориентации и наклона, включает в себя следующие потери:

- потери инвертора (4–15%);
- температурные потери (5–18%);
- потери в кабелях постоянного тока (1–3%);
- потери в кабелях переменного тока (1–3%);
- затенение (0–80%);
- потери в связи со слабым излучением (3–7%);
- потери, связанные с пылью, снегом и т.д. (до 2%).

Для оценки технического потенциала солнечной энергетики мы приняли среднемировой уровень КПД используемых солнечных панелей $r = 20\%$ и коэффициент производительности $PR = 30–70\%$ в зависимости от уровня инсоляции [5]. Результаты расчета по зонам инсоляции сведены в таблице 6.

Технический потенциал солнечной энергетики России огромен и равен значению **2,56·10⁹ ГВт·ч/год**, что соответствует использованию примерно

219,8 млрд т н.э. в год. Это, в свою очередь, больше чем в 17 раз превышает уровень мирового энергопотребления в 2012 г. [4]. То есть размещение стандартных фотоэлектрических панелей с коэффициентом полезного действия 20% и коэффициентом загрузки 30–70% на 1/17 части территории России, или на площади в 1 млн км², способно удовлетворить потребности всего человечества в топливе и энергии в течение года. Оценим, какую площадь в зоне инсоляции с уровнем 4,5–5 кВт·ч/м²/сутки необходимо занять солнечными панелями с принятыми выше параметрами КПД и коэффициента производительности PR, чтобы компенсировать полностью энергопотребление России в 2012 г. Для этого воспользуемся формулой (10):

$$S_{pv} = S \cdot W_{\text{потр}} / W_{\text{тех.пот.}}, \quad (10)$$

где S – площадь зоны инсоляции с уровнем 4,5–5 кВт·ч/м²/сутки, взята из таблицы 5 и равна 1,177·10⁶ км²;
 $W_{\text{потр}}$ – энергопотребление России в 2012 г., равное 694,2 млн т н.э. [4];

$W_{\text{тех.пот.}}$ – технический потенциал солнечной энергетики в зоне инсоляции 4,5–5 кВт·ч/м²/сутки, равный 25,88 млрд т н.э.

Рассчитанное значение площади составляет 31,57 тыс. км², или 0,18% территории России, или 2,7% территории с уровнем инсоляции 4,5–5 кВт·ч/м²/сутки (рис. 9). Так как эта территория недостаточно интенсивно используется в народном хозяйстве, мало заселена, то вопрос ее использования под размещение солнечных батарей не вызывает каких-либо серьезных проблем. Также были сделаны расчеты по остальным зонам инсоляции и определена территория этих зон, которую необходимо занять стандартными солнечными панелями для 100%-го замещения энергопотребления России в 2012 г., результаты которых приведены в таблице 7. Чем выше уровень инсоляции, тем меньшую территорию необходимо использовать для размещения солнечных панелей. Эта территория огромна, для справки: территория Хорватии, к примеру, составляет 56 тыс. км², однако если

сравнить карту Европы и России (рис. 12), становится ясно, что для России это совершенно несущественно.

В этом и есть одно из главных конкурентных преимуществ России перед остальными странами мира в вопросах применения возобновляемых источников энергии, где свободная территория является определяющим фактором при выработке энергии.

ВЫВОДЫ:

- Россия потребляет огромное количества тепла и энергии, в силу того что обладает самой большой в мире территорией свыше 17 млн км², большая часть которой расположена в северных и полярных районах. Однако это же является неоспоримым преимуществом России в вопросах производства энергии из возобновляемых источников, таких как ветер и солнце.
- Технический потенциал ветроэнергетики в России оценивается в **0,07·10⁹ ГВт·час/год**, что сопоставимо с использованием примерно **6 млрд т н.э. в год (~50% от уровня мирового энерго-**



ВЫСТАВКА ПРОХОДИТ ПОД ПАТРОНАЖЕМ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ПАЛАТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

XIII Международная
специализированная выставка

Нефть. Газ. Химия.

9-11 СЕНТЯБРЯ/ 2014

- ВЕДУЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ОТРАСЛИ
- ВСТРЕЧИ С ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ КЛИЕНТАМИ И ПАРТНЕРАМИ
- ТЕРРИТОРИЯ ШИРОКИХ БИЗНЕС-ВОЗМОЖНОСТЕЙ
- ЭФФЕКТИВНОЕ ВЛОЖЕНИЕ В БУДУЩЕЕ РАЗВИТИЕ

Место проведения:

г. Ижевск, ул. Кооперативная, 9

тел./факс: (3412) 733-581, 733-585, 733-587, 733-664
 neft@vcudm.ru | www.neft.vcudm.ru | vk.com/ngxmmm

Информационный партнер



Интернет-партнеры

ПУЛЬС ЦЕН

ПОСТАВЩИКИ МАШИН
и ОБОРУДОВАНИЯ

потребления в 2012 г.). Для полного удовлетворения энергопотребления России на уровне 2012 г. требуется размещение стандартных ветроэнергетических установок с диаметром лопастей от 50 до 100 м на территории чуть более 11% территории страны.

• Технический потенциал солнечной энергетики России оценивается в **2,56·10⁹ ГВт·час/год**, что сопоставимо с использованием более **219 млрд т н.э. в год (в 17 раз больше уровня мирового энергопотребления в 2012 г.)**. Для удовлетворения

потребностей России в энергии на уровне 2012 г. солнечные панели с КПД 20% достаточно разместить на территории от 30 до 123 тыс. км² в зависимости от уровня инсоляции, что составляет чуть более 0,7% территории страны.

Литература:

1. Бессель В.В., Беляев А.А., Зверев А.М. Энергосбережение в магистральном транспорте газа за счет использования возобновляемых источников энергии // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2013. – № 9. – С. 84–90.
2. Бессель В.В. К вопросу оценки энергетической эффективности экономики России // Бурение и нефть. – 2013. – № 12. – С. 18–23.
3. Бессель В.В., Лопатин А.С., Беляев А.А., Кучеров В.Г. Использование возобновляемых источников энергии для повышения энергоэффективности ЕСГ России // Neftegaz.RU. – 2013. – № 10. – С. 12–20.
4. BP Statistical Review of World Energy, June 2013. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
5. Enargo. Renewable energy sources. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.enargo.ru/technologies_wind.php.
6. Universal Desktop Ruler (Универсальная экранная линейка). [Ссылка для скачивания программы] – Режим доступа: <http://avpsoft.ru/products/udruler>.
7. Безруких П.П. Ветроэнергетика: Справочное и методическое пособие. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010.
8. Wizelius T. Developing Wind Power Projects. (2007), London, UK: Earthscan. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://books.google.ru/books?id=eTanK1VaQTYC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
9. Ali Sayigh. Comprehensive Renewable Energy. 2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.sciencedirect.com.focus.lib.kth.se/science?_ob=RefWorkIndexURL&_idxType=GI&_cid=282715&_acct=C000034958&_version=1&_userid=4478132&md5=8d196220a025d681642df48e80070e7b.
10. The World Factbook. Central Intelligence Agency. 2014. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/rs.html>.
11. ГИС «энергоэффективность», 2012. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gisee.ru/articles/solar-energy/24510/>.
12. Hevel solar. 2011. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.hevelsolar.com/solar/>

UDC 620.92(477)

R.D. Mingaleeva, Candidate for the Master's Degree; **V.S. Zaytsev**, Candidate for the Master's Degree; **V.V. Bessel**, Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas

Assessment of technical potential of wind and solar power industry of Russia

The paper is an intermediate result of the research undertaken within the scope of joint Master training program «Energy saving technology for the gas pipeline systems» of Gubkin Russian State University of Oil and Gas and Royal Institute of Technology (Stockholm, Sweden). As already shown in previously published papers, Russia is one of the worldwide leaders in internal energy consumption. Moreover, the efficiency of energy consumption is extremely low [1, 2]. This is a kind of energy fee for the huge territory occupied by Russia, 70% of which is within northern and north-polar latitudes. On the other hand, our huge territory is at the same time our competitive advantage. The below procedure is proposed for assessment of the technical potential of Russia, i.e. using currently existing tools, in the field of application of two most prevailing sources of renewable energy in the world - wind energy and solar energy.

Keywords: GDP, energy consumption, specific energy consumption, energy saving, renewable energy sources, efficiency of energy consumption, wind energy, windwheel, solar energy, level of insolation.

References:

1. Bessel V.V., Belyayev A.A., Zverev A.M. Energoberezhenie v magistral'nom transporte gaza za schet ispol'zovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii (Energy saving in main pipeline gas transmission using the renewable energy sources) // NEFTEGAS Territory. – 2013. – No. 9. – P. 84–90.
2. Bessel V.V. K voprosu ob otsenke energeticheskoi effektivnosti ekonomiki Rossii (Concerning the assessment of energy efficiency of the Russian economy) // Burenije i Neft (Drilling and Oil). – 2013. – No. 12. – P. 18–23.
3. Bessel V.V., Lopatin A.S., Belyayev A.A., Kuchеров V.G. Ispol'zovanie vozobnovlyaemykh istochnikov energii dlya povysheniya energoeffektivnosti ESG Rossii (Harnessing of renewable resources for improvement of energy efficiency of the Unified Gas Supply System of Russia) // Neftegaz. RU. – 2013. – No. 10. – P. 12–20.
4. BP Statistical Review of World Energy, June 2013 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
5. Enargo. Renewable energy sources [Electronic resource]. – Access mode: http://www.enargo.ru/technologies_wind.php.
6. Universal Desktop Ruler. – Access mode: <http://avpsoft.ru/products/udruler>.
7. Bezrukikh P.P. Vetroenergetika (Wind industry): Reference and teacher edition. – Moscow: ENERGIA Publishing House, 2010.
8. Wizelius T. Developing Wind Power Projects. (2007), London, UK: Earthscan [Electronic resource]. – Access mode: http://books.google.ru/books?id=eTanK1VaQTYC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
9. Ali Sayigh. Comprehensive Renewable Energy. 2012 [Electronic resource]. – Access mode: http://www.sciencedirect.com.focus.lib.kth.se/science?_ob=RefWorkIndexURL&_idxType=GI&_cid=282715&_acct=C000034958&_version=1&_userid=4478132&md5=8d196220a025d681642df48e80070e7b.
10. The World Factbook. Central Intelligence Agency. 2014 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/rs.html>.
11. Energy Efficiency State Information System, 2012. [Electronic resource] – Access mode: <http://gisee.ru/articles/solar-energy/24510/>.
12. Hevel solar. 2011 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.hevelsolar.com/solar/>