

Ветроэнергетика России: анализ научно-технических и правовых проблем

БЕЛЕЙ В.Ф., НИКИШИН А.Ю.

Приведен анализ развития ветроэнергетики и рассмотрены научно-технические и правовые проблемы, которые имеют место в России в области ветроэнергетики.

Ключевые слова: ветровая энергия, ветроэнергетическая установка, схемы, энергия, мощность, правовые документы, математическая модель

Ветроэнергетика – это самая быстроразвивающаяся отрасль мировой электроэнергетики. В 2009 г. в мире был зарегистрирован самый высокий за всю историю уровень ввода в эксплуатацию ветроэнергетических установок (ВЭУ) – 38312 МВт.

Данные по прогнозу развития ветроэнергетики и ее составляющей в мировой энергетике приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Год	Установленная мощность ВЭУ, МВт	Доля выработанной электроэнергии, %	Сокращение выбросов CO ₂ , %
2008	122000	1,5	2,2
2013	350000	3,35	4,3
2018	820000	8,0	11,0

Анализ развития мировой ветроэнергетики показал, что планы, принятые в рамках Глобального международного проекта Wind Force, выполняются с существенным опережением. Следует отметить, что уже в настоящее время в Дании (пионер европейской промышленности по производству ВЭУ и мировой лидер по доле ветроэнергетики в энергетическом балансе) вырабатывается около 20% всей вырабатываемой в стране электроэнергии посредством ВЭУ. Дания планирует к 2050 г. довести долю ветровой энергии в производстве электроэнергии до 50% [2–5].

Такой стремительный рост мировой ветроэнергетики в основном обусловлен: источником энергии (возобновляемый); непрерывно снижающимися удельной стоимостью ВЭУ и средней себестоимостью вырабатываемой ими электроэнергии (табл. 2) [5, 6].

Суммарная установленная мощность ВЭУ в РФ составляет ~14,0 МВт, из которых 5,1 МВт приходится на Калининградскую обл. [7]. Следует отметить, что в конце 50-х годов прошлого века в

The development of wind power engineering is analyzed, and the scientific-technical and legal problems existing in Russia in the field of wind power engineering are discussed.

Key words: wind energy, wind power installation, circuits, energy, power, legal documents, mathematical model

СССР установленная мощность ВЭУ составляла более 100 МВт [3]. Россия обладает огромным ветропотенциалом. Ресурс ветровой энергии в России – технически возможный к использованию (технический ресурс) – оценивается в 52181 млрд кВт⋅ч [5] и в 16500 млрд кВт⋅ч [8] при годовой выработке электроэнергии в РФ около 916 млрд кВт⋅ч.

Таблица 2

Год	Ценовые показатели ВЭУ	
	Удельная стоимость C _{уд} , долл./кВт	Средняя себестоимость вырабатываемой энергии C _{ээ} , цент/кВт⋅ч
1981	4000	38,0
1985	2640	18,0
1989	1520	8,0
1994	1100	5,0
2000	950	4,0
2004	900	3,8
2008	1300	4,0

Примечание. С 2004 г. намечается рост ценовых показателей, что обусловлено падением стоимости валюты США.

Остановимся на ряде научно-технических и правовых проблем, возникающих при использовании ВЭУ для выработки электрической электроэнергии в составе электроэнергетических систем РФ.

Тип и характеристики ветроэнергетических установок. Современные ВЭУ конструктивно можно разделить на две группы: с горизонтальной осью вращения и с вертикальной осью вращения. Первые получили в мире повсеместное распространение. В настоящее время в РФ выпускаются ВЭУ лишь малой мощности, поэтому в нашей стране принята ориентация на использование ВЭУ средней и большой мощности, производимых зарубежными фирмами [5].

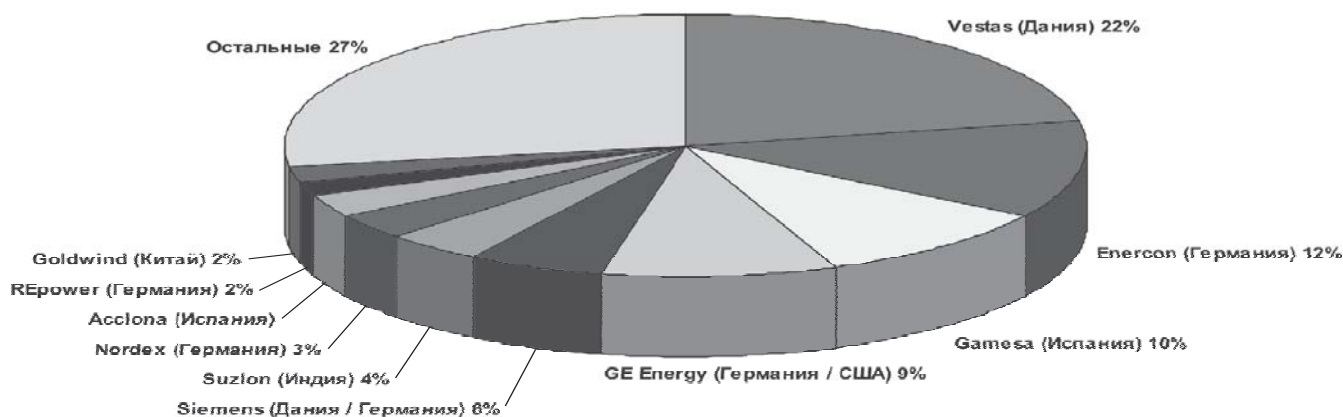


Рис. 1. Распределение долей мирового рынка между производителями ВЭУ (2009 г.)

С середины 80-х годов прошлого века по настоящее время в мире ВЭУ с горизонтальной осью вращения сменилось примерно восемь поколений. Каждое из последующих поколений отличается от предыдущих: большей единичной установленной мощностью от 20–30 до 4500 кВт; степенью автоматизации; решением технических и экологических проблем; более высокой производительностью и более низкой себестоимостью выработанной электроэнергии. На рис. 1 приведены данные о десятке ведущих в мире фирм-производителей ВЭУ, на долю которых пришлось 73% объема глобальных поставок в 2009 г. [1, 9].

Таблица 3

Тип ВЭУ	Технические данные ВЭУ						Диаметр ротора, м	Ометаемая поверхность, м ²
	Мощность P*, кВт	Высота ступицы, м	Скорость, м/с					
			v _{нач}	v _{ном}	v _{кон}			
Фирма «Vestas»								
V47	600/220	55, 60, 65,76	4,0	16	25	47	1735	
V52	850	60, 65, 74, 86	4,0	16	25	52	2124	
V66	1750	60, 67, 78	4,0	16	25	66	3421	
V80	2000	60, 67, 78, 85, 95, 100	4,0	16	25	80	5027	
V90	3000	80, 105	4,0	15	25	90	6362	
V100	2750	100	4,0	15	25	100	7850	
V120	4500	120	4,0	12	25	120	11310	
Фирма «Enercon»								
E33	330	49-50	2,5	12	28-34	33	876	
E48	800	50-76	3	13	28-34	48	1810	
E70	2000	58-113	2,5	13	28-34	71	3959	
E82	2000	70-112	2,5	13	22-28	82	5281	
E112	4500-6000	124	2,5	-	28-34	114	10207	
E126	6000-7500	135	-	-	-	126	12304	

* Для установок фирмы «Vestas» указана мощность $P_{ном}$, а для установок фирмы «Enercon» – $P_{уст}$.

В ВЭУ первых поколений, производимых фирмой «Vestas», использовалась асинхронная машина с короткозамкнутым ротором и конденсаторами для компенсации реактивной мощности, потребляемой генератором на холостом ходу (рис. 2,а), что создавало ряд проблем с обеспечением качества электроэнергии в питающей сети.

С ростом мощностей ВЭУ возрастало их воздействие на электрическую сеть [10]. В настоящее время преимущественно используются ВЭУ двух типов: на основе асинхронных генераторов двойного питания (рис. 2,б) или безредукторные ВЭУ на основе синхронного генератора (рис. 2,в), в которых решены проблемы плавного пуска, потребления или выдачи реактивной мощности, стабилизации напряжения.

Оба типа ВЭУ обладают своими преимуществами и недостатками. Так, стартовая скорость ВЭУ на основе синхронного генератора несколько ниже (см. табл. 3, ВЭУ фирмы «Enercon»), чем на основе асинхронного (табл. 3, ВЭУ фирмы «Vestas»), что несколько увеличивает выработку электроэнергии (отсутствует громоздкий редуктор). Благодаря использованию преобразователя с мощностью, равной номинальной мощности ВЭУ, возможно регулирование реактивной мощности в более широких пределах, чем при использовании АГ с двойным питанием [11].

Преимущество ВЭУ на основе асинхронного генератора двойного питания: использование полупроводникового преобразователя меньшей мощности (около 30% мощности ВЭУ) позволяет значительно снизить его стоимость и потери. Благодаря этому, как показывают исследования [11], при достаточном высоких средних скоростях ветра (более 7,5 м/с) ВЭУ на основе асинхронных генераторов двойного питания чуть более эффективны [12]. Следует отметить, что дальнейшее развитие ВЭУ идет по пути оптимизации существующих разработок, использования новых профилей лопастей, ма-

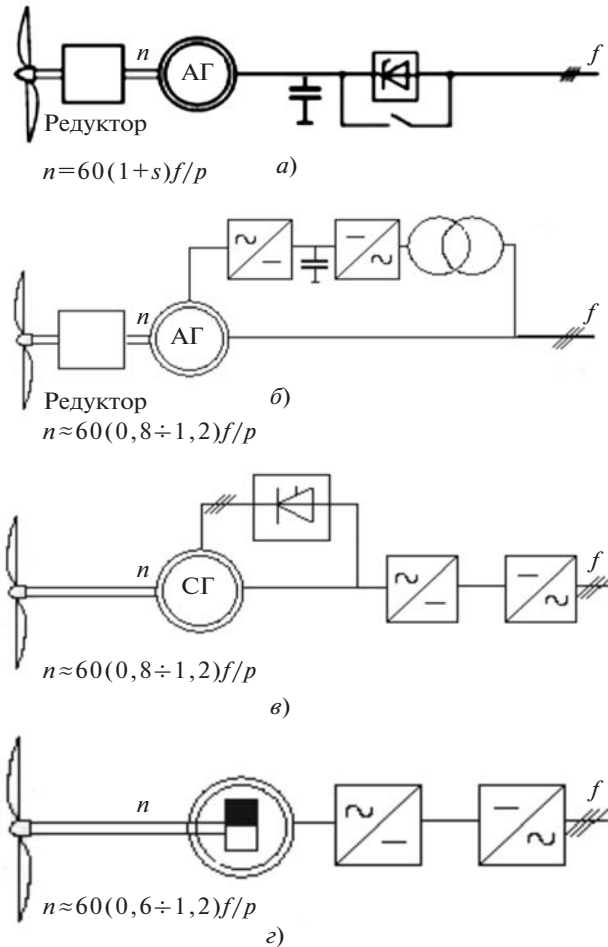


Рис. 2. Некоторые наиболее распространенные электрические схемы ВЭУ: *a* – с асинхронным генератором (короткозамкнутый ротор), реактивная мощность потребляется; *б* – с асинхронным генератором (с двойным питанием); *в* – с синхронным генератором с традиционной системой возбуждения и вставкой постоянного тока; *г* – с синхронным генератором (с постоянными магнитами) и вставкой постоянного тока; *б–г* – реактивная мощность регулируется

териалов. Вводится понятие специализации ВЭУ, например ВЭУ марки V100 фирмы «Vestas» предназначена для установки в местах с низкой среднегодовой скоростью ветра. Весьма перспективна концепция ВЭУ на основе синхронного генератора с постоянными магнитами, обладающая более простой конструкцией и широким диапазоном скоростей ветроколеса (рис. 2,г). Реализацию этой концепции, названную Windformer, предлагает фирма АББ [13]. Электрическая схема ВЭУ аналогична показанной на рис. 2,в. Отличие заключается в следующем: используется высоковольтный генератор напряжением более 20 кВ; несколько ВЭУ объединяются в группу (кластер), и энергия от них по кабелям постоянного тока поступает к общему преобразователю, подключенному к сети переменного тока. В этих ВЭУ отсутствуют редуктор, трансформатор. Все это уменьшает размеры капсулы, повышает надежность ВЭУ, снижает уровень шума.

Одной из важнейших технических характеристик ВЭУ является зависимость вырабатываемой ею активной мощности от скорости ветра на высоте ступицы (рис. 3).

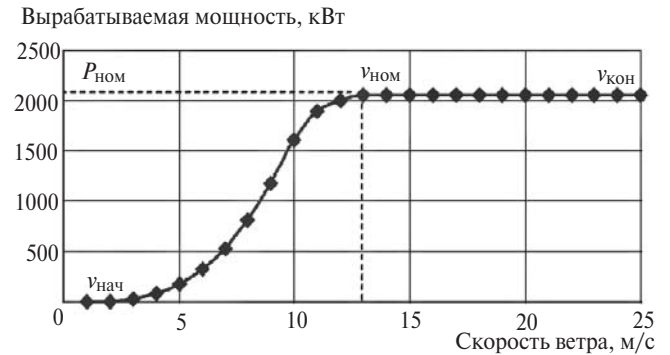


Рис. 3. Зависимость выдаваемой мощности ВЭУ типа V80 («Vestas») от скорости ветра

Важнейшими показателями эксплуатации ВЭУ являются коэффициент удельной выработки электроэнергии ($K_{уд}$) и коэффициент использования установленной мощности ($K_{уст}$):

$$K_{уд} = \frac{W_{Г}}{\rho R^2}; \tag{1}$$

$$K_{уст} = \frac{W_{Г}}{(8760 - T_{пр})P_{н}}, \tag{2}$$

где ρR^2 – ометаемая поверхность ВЭУ (табл. 3); $W_{Г}$ – годовая выработка ВЭУ; $T_{пр}$ – число часов вынужденного аварийного простоя.

Выработка электрической энергии ВЭУ. Для систематизации характеристик ветровой энергии в конкретном регионе для ее эффективного использования разрабатывается ветровой кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить энергетическую ценность ветра и режимы работы ВЭУ. Основной характеристикой ветра, определяющей эффективность использования ветровой энергии, является среднегодовая скорость ветра ($v_{ср}$). Для получения достоверных данных о средних скоростях ветра, определяющих его энергетическую способность, достаточно ограничиться рассмотрением десятилетних объемов выборки наблюдений [5, 14]. Обычно приборы метеостанций фиксируют скорость ветра на высоте 9–20 м. Ступица ветроколеса ВЭУ находится на высоте до 124 м (рис. 4, табл. 3).

При установившемся ветровом потоке скорость ветра возрастает с увеличением высоты над поверхностью Земли. Следует отметить, что достоверное определение скорости ветра на уровне ступицы ветроколеса расчетным путем – это очень сложная задача, так как скорость ветра в атмосфере зависит



Рис. 4. Высота флюгера (h_ϕ) и уровня ступицы ветроколеса (h) ВЭУ

от многих факторов: времени года, месторасположения ВЭУ (равнинная местность, берег моря, море и т.д.). В общем виде скорость ветра на высоте h определяется через скорость ветра на высоте флюгера h_ϕ по выражению:

$$v = v_{\phi} \left(\frac{h}{h_\phi} \right)^m, \tag{3}$$

где m – коэффициент (показатель класса поверхности), характеризующий степень возрастания ветра с высотой над поверхностью Земли.

В [5] приведены результаты расчетов отношения средних скоростей на различной высоте к средней скорости на высоте флюгера $h_\phi = 10$ м и показателя m для различного времени года, справедливые для условий равнинной местности: степь, тундра, пустыня (табл. 4).

Таблица 4

Время года	Коэффициент возрастания средней скорости ветра с высотой $v(h)/v(h_\phi)$ для разной высоты (м)						Показатель степени m^*
	10	20	40	60	80	100	
Зима	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
Весна	1	1,17	1,36	1,50	1,59	1,66	0,22
Лето	1	1,18	1,40	1,55	1,67	1,76	0,24
Осень	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
Год	1	1,15	1,32	1,44	1,53	1,60	0,20

* Для побережья морей и озер, а также верхних частей склонов переменную часть коэффициента, стоящую после запятой, следует уменьшить в 1,5 раза.

Знание среднегодовой скорости ветра (v_{cp}) на уровне ступицы ветроколеса ВЭУ и зависимости активной мощности, выдаваемой ВЭУ, от скорости ветра (рис. 3) позволяют по методике Рейлиха [15] рассчитывать годовую выработку электроэнергии:

$$W_\Gamma = \int_{t=1}^T f_{y,i} P_i t; \tag{4}$$

$$f_{y,i} = \exp\left\{-\frac{P_i}{4C_p v_{cp}} \left(\frac{v_i}{v_{cp}}\right)^{2,5}\right\} \exp\left\{-\frac{P_i}{4C_p v_{cp}} \left(\frac{v_i}{v_{cp}}\right)^{2,5}\right\}$$

где $f_{y,i}$ – частотное распределение по скоростям; v_i – действительная скорость ветра; P_i – мощность, выдаваемая ВЭУ в сеть при данной скорости ветра.

Результаты расчетов по (4) были подтверждены данными по реальной выработке электроэнергии (в млн кВт/год) ветропарком мощностью 5,1 МВт, расположенным в прибрежной зоне Балтийского моря Калининградской области (измерения проводились 09.09.2002 и 18.08.03):

Расчет

непосредственный 6,19

по методу Рейлиха 6,30

Погрешность 1,76%

На рис. 5 приведены зависимости коэффициента использования установленной мощности ВЭУ основных типов от среднегодовой скорости ветра на уровне ступицы ветроколеса, рассчитанные по (4) с использованием технических характеристик ВЭУ.

Новым направлением современной ветроэнергетики являются ветроэлектростанции морского базирования. Бурный рост этого направления в мире обусловлен высокой степенью приватизации и стоимостью земли, более высоким потенциалом над морем, возможностью решения ряда экологических проблем. Удельная стоимость капитальных вложений в ВЭС морского базирования в 1,7–2 раза выше сухопутных ВЭС. Рентабельными считают ВЭС, удаленные от берега не далее 40 км и установленные на глубине шельфа не более 25–35 м. Выработка морских ВЭС оказывается на 25–40% выше, чем на суше при их удалении от берега на 3–5 км и более (расстояние, на котором более сла-

Коэффициент использования, отн. ед.

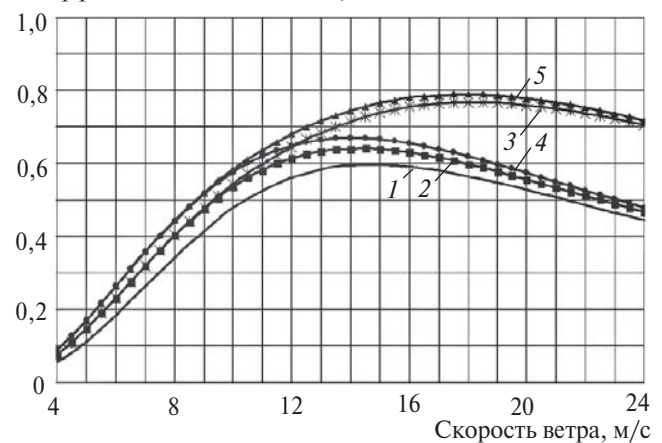


Рис. 5. Зависимости коэффициента использования установленной мощности ВЭУ от среднегодовой скорости ветра на уровне ступицы ветроколеса для основных типов ВЭУ: 1 – АГ с короткозамкнутым ротором ($v_{кон}=25$ м/с); 2 – АГ двойного питания ($v_{кон}=25$ м/с); 3 – АГ двойного питания ($v_{кон}=34$ м/с); 4 – СГ ($v_{кон}=25$ м/с); 5 – СГ ($v_{кон}=34$ м/с)

бый сухопутный ветер успевае трансформироваться в более сильный морской). Установка ВЭС на шельфе в непосредственной близости от берега (до 1–1,5 км) оказывается, по мнению ряда специалистов, малоэффективной из-за недостаточно высокого ветропотенциала и высокой стоимости строительства ВЭС [2–5].

Полученные зависимости и технические характеристики ВЭУ позволяют с достаточной для инженерных методов точностью рассчитать выработку электроэнергии ВЭУ и ветропарков.

Пример расчета выработки электроэнергии ветропарками Калининградской области. В течение двух лет (2006 по 2008 гг.) в рамках проекта Tasis 2006/122 POWER «Перспективы развития морской ветроэнергетики в акваториях Литвы, Польши и Калининградской области» была разработана карта оптимального размещения ветропарков у берегов Балтийского моря. В частности, в акватории Калининградской области обоснованы две площадки для возведения ветропарков: 1) площадь 28 км², установленная мощность 130 МВт; 2) площадь 24 км², установленная мощность 115 МВт [16]. Кроме этого, ОАО Янтарьэнерго участвовало в проекте по возведению ветропарка мощностью 50 МВт в Балтийском заливе.

Рассчитаем электрическую энергию, выработанную ветропарком мощностью 115 МВт. Предполагается использовать 58 ВЭУ типа V80 фирмы «Vestas» с расположением ступицы ветроколеса на высоте 100 м над уровнем моря (табл. 3). Выбраны ВЭУ на основе АГ двойного питания с конечной скоростью 25 м/с. При среднегодовой скорости 9,2 м/с в точке расположения ветропарка коэффициент использования установленной мощности ВЭУ (согласно рис. 5) составит $K_{исп}=0,49$. Тогда годовая выработка электроэнергии

$$W_{Г} = K_{исп} K_{в} n P_{ном} T_{Г} = 0,49 \cdot 0,94 \cdot 58 \cdot 2000 \cdot 8760 = 468,04 \text{ млн кВт}\cdot\text{ч}$$

($K_{в}=0,94$ – коэффициент, учитывающий взаимное влияние ВЭУ; $P_{ном}=2000$ кВт; $T_{Г}=8760$ ч).

Таблица 5

Мощность ветропарка, МВт	$K_{исп}$	$V_{ср}$, м/с	Число и тип ВЭУ	Выработка млн кВт·ч /год
50	0,33	7,3	25 "Vestas" V80	141,47
130	0,44	8,5	65 "Vestas" V80	471,01
115	0,49	9,2	58 "Vestas" V80	468,04
5,1 (действующий)	0,19	6,5	20 "Vestas" V27 и 1 "Vestas" W-4200/600	8,5

Результаты аналогичных расчетов для действующего и перспективных ветропарков Калининградской области сведены в табл. 5.

Таким образом, при вводе в эксплуатацию ветропарков в Калининградской области можно было бы выработать 1089,02 млн кВт·ч /год.

Нормативные документы в области ветроэнергетики. К нормативным документам относятся в первую очередь государственные стандарты. На сегодняшний день в РФ имеется три стандарта, в которых рассмотрены лишь общие вопросы ветроэнергетики (см. приложение 1), что создает значительные трудности при решении вопросов, связанных с внедрением ВЭУ в РФ.

Выход из сложившейся ситуации видится в адаптации к российским условиям международных стандартов, норм и других документов в области ветроэнергетики.

На настоящий момент разработку и модернизацию международных стандартов по ветроэнергетике ведут рабочие группы Технического комитета - 88 (ТС-88) и Международная электротехническая комиссия (МЭК). В состав разработчиков входят такие организации, как NWTС (National Wind Technology Center, США), RISOE National Laboratory (Дания), AWEA (American Wind Energy Association, США), Netherlands Energy Research Foundation и другие. В приложении 2 приведены разработанные МЭК действующие стандарты по ветроэнергетике [17].

Эти документы признаны действующими: в Австралии, Великобритании, Канаде, Дании, Германии, Франции, Греции, Италии, Японии и др. Они же принимаются за основу при разработке нормативных документов национального уровня. В настоящее время продолжается разработка новых стандартов, ведется работа по приведению разработанных стандартов в соответствие с возможностями новейших типов ВЭУ [18].

Подключение и работа ВЭУ и ветропарков в составе электроэнергетических систем. С ростом мощностей ВЭУ и ветропарков технические характеристики электрической сети имеют все большее значение наряду с такими характеристиками, как ветропотенциал и экологическая совместимость [19, 20]. Работа ВЭУ и ветропарков в составе электрических сетей и систем оказывает влияние:

на качество электроэнергии (нормы и директивы);

загрузку сетей (технические границы);

загрузку сетей при коротких замыканиях;

баланс мощностей и энергий.

Подключение ВЭУ и ветропарков к электрической сети может превысить её технические возмож-

ности и стать причиной дополнительных затрат на усиление сети или наоборот.

Таким образом, на стадии проектирования следует оценить:

возможность подключения ветропарка к сети;
воздействие ветропарка на электрическую сеть при параллельной работе сети и ВЭУ.

Возможность подключения ВЭУ к электрической сети необходимо оценивать, учитывая:

соотношение $S_{ВЭУ}$ и $S_{КЗ}$ ($S_{ВЭУ}/S_{КЗ}^3 < 0,02$);
комплексный расчет перетоков мощности в электрической сети;

изменения напряжения при коммутациях;
расчет токов короткого замыкания;
оценку фликера и высших гармоник.

Следует отметить, что первое требование в условиях слабых сетей не всегда выполнимо. В этих случаях необходимо принимать во внимание особенности ВЭУ. В частности, если использовать ВЭУ, в которых решены проблемы с выдачей или потреблением реактивной мощности, стабилизацией напряжения, отключением ВЭУ при коротких замыканиях, то появляется возможность подключения мощных ВЭУ к этим электрическим сетям. Такой анализ целесообразно проводить на математической модели. Для исследования динамических и статических режимов в ЭЭС используется программный модуль-дополнение PSAT (Power System Analysis Toolbox). Данный модуль является дополнением к MATLAB® и содержит в своей библиотеке моделей основанные на SIMULINK® модели ветра и ветроэнергетических установок. Оценка возможности подключения и работы в составе ветроэнергетической системы Калининградской области ветропарка мощностью 50 МВт была проведена также с помощью математической модели [21].

Представляют практический интерес рекомендации специалистов Deutsches Windenergie-Institut GmbH [22] по предельным мощностям ВЭУ и ветропарков, подключаемых к сетям различного напряжения (U). Рост предельных мощностей ВЭУ и ветропарков с увеличением напряжения сетей, к

которым они подключаются, определяется мощностью короткого замыкания (табл. 6):

$$S_{КЗ} = U^2 / Z_{КЗ},$$

где U – номинальное напряжение сети; $Z_{КЗ}$ – эквивалентное сопротивление от точки в энергосистеме, к которой подключена ВЭУ, до той точки в энергосистеме, где мощность источника является бесконечно большой по отношению к мощности ВЭУ.

На наш взгляд, эти рекомендации в России могут быть использованы как ориентировочные, так как сети в России по различным показателям отличаются от европейских сетей, которые прекрасно приспособлены для приема электроэнергии от ВЭУ.

Государственная поддержка развития возобновляемой энергетики. Очевидно, что без государственной поддержки развитие ветроэнергетики в России весьма проблематично. Резкий рост установленных мощностей ВЭУ в США, Китае в Европейском Союзе и других странах объясняется созданием благоприятных условий производителям и потребителям оборудования, использующим возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Это, в первую очередь, свободный доступ на рынок электроэнергии, не дискриминационное льготное присоединение к электрической сети и регулирование энергетических тарифов и налогов на выбросы и загрязнение окружающей среды [3].

Законодательные инициативы Европейского Союза по развитию рынка ВИЭ в Европе, направленные на либерализацию рынка электроэнергии (Energy Market Liberalization Directive 96/92) и введение новой тарифной политики на электроэнергию (Feed – in Tariffs (FIT), 2000 г.) сводятся к следующим мерам.

1. Вводятся ежегодные квоты местным энергетическим компаниям на производство электроэнергии от возобновляемых источников энергии в размере 2–15 % общего объема продаж электроэнергии. Если энергокомпания не производит и не продает электроэнергию от ВИЭ, она должна покупать зеленые сертификаты.

Таблица 6

Сеть с напряжением U_H	Тип подключаемых ветроэнергетических установок	Предельные мощности, МВт
Низкого напряжения <1 кВ	ВЭУ малой и средней мощностью	до 0,3
Среднего напряжения от 1 до <35 кВ	ВЭУ средней и большой мощностью, ветропарки	до 2,5
Непосредственное подключение к шинам среднего напряжения	Ветропарки и ветроэлектростанции	10, 40
Высокого напряжения >35	Ветропарки и ветроэлектростанции	до 100
Сверхвысокого напряжения >220 кВ	Ветроэлектростанции большой мощности	> 500

2. Каждая энергокомпания обязана покупать электроэнергию у владельцев генераторов, использующих ВИЭ, по фиксированной цене в течение 20 лет, например, в Германии – по цене 0,57 Евро/кВт \times при мощности менее 30 кВт, в Испании 0,4 Евро/кВт \times при мощности менее 5 кВт, в Австрии 0,6 Евро/кВт \times при мощности менее 20 кВт, в Люксембурге 0,5 Евро/кВт \times , во Франции 0,295 Евро/кВт \times при мощности до 450 кВт.

3. Не требуется никакого разрешения частному владельцу для покупки, установки и включения в энергосистему электрического генератора, использующего возобновляемые источники энергии.

4. Потребителю электроэнергии и владельцу электрического генератора, использующего ВИЭ, предоставляется право свободного выбора энергокомпании, которой он продает или у которой покупает электроэнергию.

5. Владелец электрического генератора, использующего ВИЭ, при покупке и установке получает грант в размере 5 Евро/Вт \times , но не более 40-75% стоимости генератора.

6. Поощряется дешевыми кредитными ставками и налоговыми льготами участие третьей стороны в финансировании затрат на покупку оборудования, использующего ВИЭ, его монтаж и эксплуатацию.

7. Общий размер грантов и тарифов рассчитывается таким образом, что владельцу компенсируются все расходы по покупке и обслуживанию электрического генератора, использующего ВИЭ, и гарантируется в течение 20 лет прибыль в размере 200–300% банковского процента по вкладу в объеме израсходованных средств.

8. Средства для стимулирования развития рынка ВИЭ берутся из специального фонда, управляемого государством, за счет отчислений от тарифов

Приложение 1. Действующие в РФ стандарты в области ветроэнергетики [5]:

1. ГОСТ Р 51237–98	«Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения»	Постановление Госстандарта РФ № 460 от 25.12.1998
2. ГОСТ Р 51990–2002	«Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. ВЭУ. Классификация»	№ 515 СТ от 25.12.2002
3. ГОСТ Р 51991–2002	«Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. ВЭУ. Общие технические требования»	№ 516 СТ от 25.12.2002

Приложение 2. Международные стандарты по ветроэнергетике, разработанные Международной электротехнической комиссией (МЭК):

1	61400-SER ed1.0 (2009-02)	Системы генератора ВЭУ (все части)
2	61400-1 ed3.0 (2005-08)	ВЭУ – Часть 1: Требования по проектированию
3	61400-2 ed2.0 (2006-03)	ВЭУ – Часть 2: Требования по проектированию малых ВЭУ
4	61400-3 ed1.0 (2009-02)	ВЭУ – Часть 3: Требования по проектированию ВЭУ морского базирования
5	61400-11 ed2.0 (2002-12)	Системы генератора ВЭУ – Часть 11: Методики измерения акустических шумов
6	61400-12-1 ed1.0 (2005-12)	ВЭУ – Часть 12-1: Измерение производительности ВЭУ для выработки электрической энергии
7	61400-13 ed1.0 (2001-06)	Системы генератора ВЭУ – Часть 13: Измерение механических нагрузок
8	61400-14 ed1.0 (2005-03)	ВЭУ – Часть 14: Декларирование уровней звука и значений тональности акустических шумов
9	61400-21 ed2.0 (2008-08)	ВЭУ – Часть 21: Измерение и оценка показателей качества электрической энергии ВЭУ, подключенных к электрической сети
10	61400-23 ed1.0 (2001-04)	Системы генератора ВЭУ – Часть 23: Полномасштабные конструктивные испытания лопастей ротора ВЭУ
11	61400-24 ed1.0 (2002-07)	Системы генератора ВЭУ – Часть 24: Молниезащита
12	61400-25 61400-25-1 ed1.0 (2006-12) 61400-25-2 ed1.0 (2006-12) 61400-25-3 ed1.0 (2006-12) 61400-25-4 ed1.0 (2008-08) 61400-25-5 ed1.0 (2006-12)	ВЭУ – Часть 25-1: Системы коммуникации для мониторинга и контроля ветроэлектростанций Общее описание принципов и моделей Информационные модели Модели обмена информацией Профиль расположения схем коммуникаций Тестирование на соответствие требованиям

на электроэнергию и продажи зеленых сертификатов и так далее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Press Release BTM Cosult ApS. International Wind Energy Development World Market Update 2009 Forecast 2009 – 2013, 25.03.2009.
2. **Перспективы** мировой ветроэнергетики. – Гринпис, 2006.
3. **Николаев В.Г., Ганага С.В.** Современное состояние и тенденции развития мировой ветроэнергетики. – Малая энергетика, 2006, № 1–2.
4. **Белей В.Ф.** Современное состояние и мировые проблемы развития ветроэнергетики. – Энергетик, 2007, №12.
5. **Концепция** использования ветровой энергии в России/Под ред. П.П. Безруких. – М.: Изд-во «Книга – Пента», 2005.
6. **Annual Report on U.S. Wind Power Installation, Cost, and Performance Trends.** – Report Summary, 2008.
7. **Белей В.Ф.** Выбор ветроустановок на основе опыта эксплуатации ветропарка в Калининградской области. – Электрика, 2003, № 2.
8. **Ганага С.В., Кудряшов Ю.И., Николаев В.Г.** Ветроэнергетические ресурсы России и перспективы их освоения. – Малая энергетика, 2006, № 1–2.
9. **Белей В.Ф. Никишин А.Ю.** Анализ технических характеристик ВЭУ ведущих фирм мира. – Международ. научная конф. «Иновации в науке и образовании – 2006», Калининград, (КГТУ), 18–20 октября 2006.
10. **Grid Capacity for Wind Energy Systems.** – Power System Software & Service, 2002.
11. **Akhmatov V., Knudsen H., Nielsen A.H.,** Advanced simulation of windmills in the electrical power supply. – Intern. Journal of Electrical Power and Energy Systems, July 2002, vol.22, № 6.
12. **Grid code for high and extra high voltage.** – Германия: E.ON Netz, 2003.
13. **Dahlgren N., Frank., Leijon., Malwfridsson L.** Wind power goes larger scale. – FBB Review, 2000, Oktober.
14. **Справочник** по климату СССР. Ч.3. Ветер. – Л.: Гидрометеониздат, 1966.
15. **IEC 61400-21,** Wind turbine generator systems. – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines.
16. **Проект 2005/214** «Перспективы развития морской ветроэнергетики в акваториях Литвы, Польши и Калининградской области»: <http://corpi.ku.lt/power>
17. **Matevosyan J., Ackermann T.** Technical Regulations for the Interconnection of Wind Farms to the Power System. – Willey & Sons, 2004.
18. **Ветроэнергетика** [Электронный ресурс]. – Институт ветроэнергетики Германии, 2008: <http://www.dewi.de>
19. **Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz.** Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz.2. Hrsg.: VDEW e.v. – Frankfurt: VDEW-Verlag, Ausgabe 1998.
20. **Белей В.Ф.** Ветроэнергетические установки: тенденции развития, проблемы подключения и эксплуатации в составе электроэнергетических систем. – Малая энергетика, 2005, № 1–2.
21. **Никишин А.Ю.** Математические модели ветроэнергетических установок морского базирования с асинхронными машинами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб, 2008.
22. **PTD-Kompetenz:** Gesamtlosung für On-/Offshore-Winsparks. – PTWE 01/2002/.

[11.11.10]

Авторы: Белей Валерий Феодосиевич окончил Калининградский технический институт рыбной промышленности и хозяйства в 1972 г. В 2004 г. в Московском государственном техническом университете (МАМИ) защитил докторскую диссертацию «Научное обоснование методов повышения эффективности электротехнических комплексов и систем». Зав. кафедрой «Электрооборудование судов и ветроэнергетика» Калининградского государственного технического университета (ФГОУ ВПО «КГТУ»).

Никишин Андрей Юрьевич окончил факультет судостроения и энергетики КГТУ в 2003 г. В 2008 г. в Государственной морской академии им. адмирала С.О. Макарова защитил кандидатскую диссертацию «Математические модели ветроэнергетических установок морского базирования с асинхронными машинами». Доцент кафедры «Электрооборудование судов и ветроэнергетика» КГТУ.

* * *

Уважаемые авторы!

Редакция публикует при каждой статье краткие сведения об авторах. В связи с этим просим вас при направлении статьи в редакцию сообщать:

- полные имена и отчества всех авторов;
- какой факультет, какого вуза и когда закончил;
- когда получил ученую степень, где и по какой тематике (теме) была защита;
- место работы и должность.

Кроме того, напоминаем, что на каждую статью следует представлять краткий (4–5 предложений) реферат на русском и английском языках (включая название), а также ключевые слова.