

Опыт эксплуатации ветропарка в Калининградской области

БЕЛЕЙ В.Ф., ЗАДОРЖНЫЙ А.О.

Для привлечения внимания к развитию ветроэнергетики в Российской Федерации и накопления опыта эксплуатации ветроэнергетических установок (ВЭУ) в прибрежной зоне Балтийского моря был сооружен ветропарк суммарной установленной мощностью 5,1 МВт. Ветропарк состоит из ВЭУ моделей Vestas V27 и Wind World 4200/600. Обе модели ВЭУ относятся к третьему поколению. В них используются асинхронные генераторы (АГ) с короткозамкнутым ротором. Представлены результаты исследований эксплуатационных режимов работы этого ветропарка. Отмечен ряд выявленных недостатков в работе ветропарка и даны рекомендации, которые могут быть полезны при реализации новых проектов в области ветроэнергетики.

Ключевые слова: ветропарк, ветроэнергетическая установка, ветропотенциал, качество электроэнергии

Общие характеристики ветропарка. В прибрежной посещаемой зоне Балтийского моря с 1998 по 2002 гг. был сооружен ветропарк (ВП) суммарной установленной мощностью 5,1 МВт (рис. 1). Ранее все ветроэнергетические установки (ВЭУ), за исключением одной, в течение 7–9 лет эксплуатировались в Дании и были безвозмездно переданы Калининградской области в рамках договора совместного сотрудничества. Ветропарк состоит из ВЭУ моделей Vestas V27 и Wind World 4200/600, относящихся к третьему поколению. В них используются асинхронные генераторы (АГ) с короткозамкнутым ротором (табл. 1) [1].

Основные эксплуатационные показатели ВЭУ и оценка условий их подключения к энергосистеме. К основным эксплуатационным показателям ВЭУ принято относить: коэффициент использования установленной мощности (K_y); удельную выработку электроэнергии ($K_{уд}$); уровень надежности; стоимость обслуживания; качество вырабатываемой электроэнергии; проблемы совместимости (электромагнитная, шумовая и прочие) [2]:

$$K_y \approx \frac{W_{год}}{(8760 - T_{пр})P_n}; \quad (1)$$

$$K_{уд} \approx \frac{W_{год}}{\pi R^2}, \quad (2)$$

где πR^2 – ометаемая поверхность ВЭУ; $W_{год}$ – годовая выработка ВЭУ; $T_{пр}$ – число часов вынужденного аварийного простоя, ч.

Следует отметить, что в мире действуют стандарты, которые регламентируют оценку основных эксплуатационных показателей ВЭУ [3, 4]. В таблице 2 приведен ряд европейских стандартов в области ветроэнергетики, регламентирующих оценку эксплуатационных показателей ВЭУ.

В России также существует ряд стандартов в области ветроэнергетики [3, 5], однако они не охватывают вопросы, связанные с оценкой эксплуатационных показателей ВЭУ. Нормативные документы, регламентирующие условия подключения и работу ВЭУ и ветропарков в составе энергосистемы (технические директивы), действуют в Германии с начала 90-х годов, в Швеции, Дании с конца 1998 г. Согласно [6] оценка возможности подключения к электрической сети основывается:

на соотношении мощности подключаемого ВП и мощности короткого замыкания в точке подключения к сети ($S_{ВП} / S_{кз} \leq 0,02$);



Рис. 1. Панорама ВП в поселке Куликово Калининградской области

Таблица 1

Тип ВЭУ, фирма	Число установок n	Общие данные				Асинхронный генератор			Регулирование мощности
		Высота башни, м	Диаметр ротора, м	Скорость ВЭУ, м/с		$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$, об/мин	Реактивная мощность*, квар	
				стартовая	номинальная				
ВЭУ-600 Wind-World	1	46	42	4,5	14÷15	600	1514	143/275	Stall
ВЭУ-225 Vestas	20	30	27	3,5	14	50	756	23/48	Pitch
						225	1009	98/157	

* В числителе – реактивная мощность, потребляемая АГ на холостом ходу (Q_{10}); в знаменателе – потребляемая в номинальном режиме ($Q_{1н}$)

Таблица 2

Стандарт IEC	Название
61400-11 ed3.0 (2012-11)	Системы генератора ВЭУ - Часть 11: Методики измерения акустических шумов
61400-12-1 ed2.0 (2017-03)	ВЭУ - Часть 12-1: Измерение производительности ВЭУ для выработки электрической энергии
61400-12-2 ed1.0 (2013-03)	ВЭУ - Часть 12-2: Измерение производительности ВЭУ для выработки электрической энергии на основе анемометрии
61400-13 ed1.0 (2015-12)	ВЭУ - Часть 13: Измерение механических нагрузок
61400-14 ed1.0 (2005-03)	ВЭУ - Часть 14: Декларирование уровней звука и значений тональности акустических шумов
61400-21 ed2.0 (2008-08)	ВЭУ - Часть 21: Измерение и оценка показателей качества электрической энергии ВЭУ, подключенных к электрической сети
61400-25 61400-25-1 ed2.0 (2017-07) 61400-25-2 ed2.0 (2015-06) 61400-25-3 ed2.0 (2015-06) 61400-25-4 ed2.0 (2016-11) 61400-25-5 ed2.0 (2017-09) 61400-25-6 ed2.0 (2016-12)	ВЭУ - Часть 25: 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 Классы логических узлов и классы данных для мониторинга состояния
61400-26-1 ed1.0 (2011-11)	ВЭУ - Часть 26-1: Операционная готовность ВЭУ по критерию времени
61400-26-2 ed1.0 (2014-06)	ВЭУ - Часть 26-2: Операционная готовность ВЭУ по критерию производительности
61400-26-3 ed1.0 (2016-08)	ВЭУ - Часть 26-3: Оперативная готовность ветроэлектростанций

комплексном расчете перетоков мощности в электрической сети;

- изменениях напряжения при коммутациях;
- расчете токов короткого замыкания;
- оценке дозы фликера и высших гармоник.

Электрическая схема подключения ветропарка к электроэнергетической сети Калининградской энергосистемы. Ветропарк условно разделён на две части: первая состоит из 11 ВЭУ-225 и одного ВЭУ-600; вторая – из 9 ВЭУ-225. Эти части соединены между собой делительным разъединителем (ДР), который разомкнут в нормальном режиме работы ВП. Выдача мощности ВП осуществляется по двум воздушным линиям 15 кВ, связывающим его с подстанциями 110 кВ *О-9* «Зеленоградск» и *О-10* «Светлогорск» (рис. 2). Эти линии электропередачи (ЛЭП) имеют большую протяженность и большое число потребителей (нагрузок), при этом ВП подключен в конце этих ЛЭП. При таком способе подключения потребление реактивной мощности АГ ВЭУ в процессе эксплуатации оказывает суще-

ственное влияние на уровни напряжения у потребителей, подключенных к этим линиям. Следует отметить, что ВЭУ в составе ВП сгруппированы в блоки по 1, 2 или 3 установки на один трансформатор 15/0,69 кВ, что провоцирует появление уравнительных токов между АГ (рис. 3).

Анализ эксплуатационных режимов работы ВЭУ Wind World 4200/600. Модель Wind World 4200/600 – ветровая турбина с высокоскоростным ротором с тремя лопастями, что определяет наличие редуктора (рис. 4).

Пуск, останов, разворот ветроколеса ВЭУ-600 по направлению ветра осуществляется автоматически системой управления (рис. 4,а). При скорости ветра 3–4 м/с лопасти ВЭУ-600 начинают вращаться. При достижении скорости ветра около 4,5 м/с скорость ротора АГ приближается к синхронной и система управления подключает АГ к сети. Пуск ВЭУ – тиристорный (Т). После окончания пуска контактор *К* шунтирует тиристорное устройство и асинхронная машина через трансформатор работа-

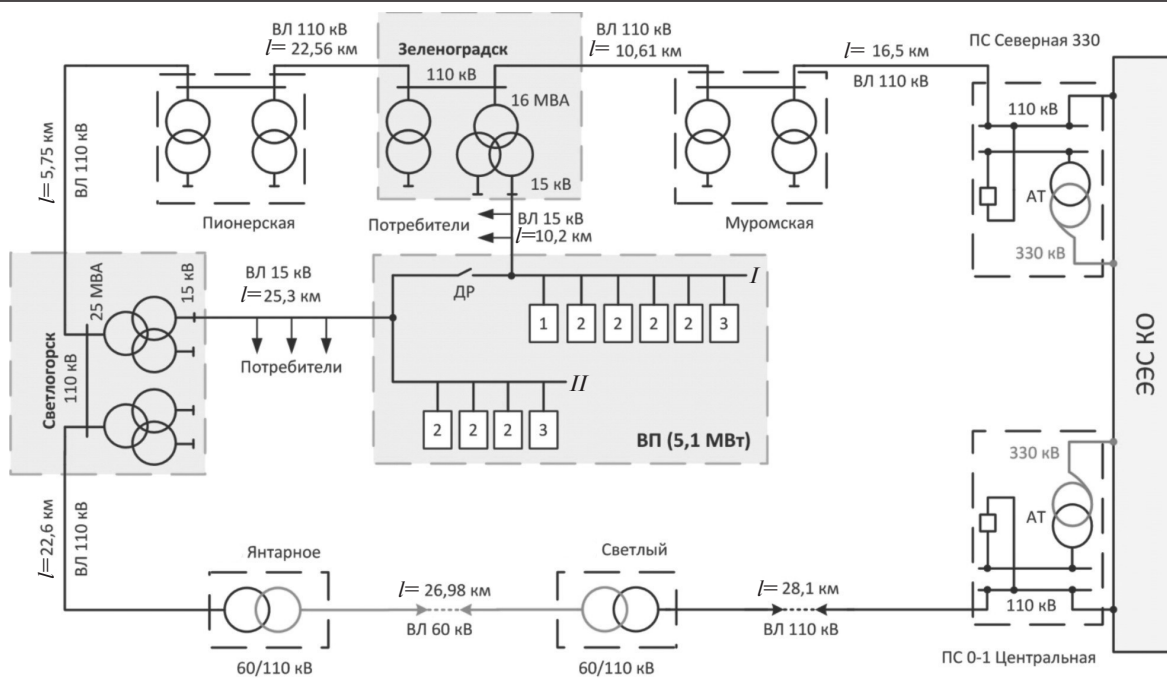


Рис. 2. Упрощенная электрическая схема подключения ВЭУ к электроэнергетической сети Калининградской области (1–3 – блоки ВЭУ; I и II – условные части ВЭУ)

ет в составе электроэнергетической системы. Подключение конденсаторной установки КУ к сети проводится, когда АГ начинает выдавать в сеть более 15 кВт.

Конденсаторная установка обеспечивает компенсацию РМ, потребляемой АГ на холостом ходу. При скорости ветра 14–15 м/с ВЭУ-600 выходит на номинальный режим. Для обеспечения постоянства мощности при скорости ветра более 14 м/с в рассматриваемой ВЭУ применяется столл (stall)-регулирование. При скорости ветра более 20 м/с ВЭУ-600 автоматически отключается. При снижении скорости ветра менее 20 м/с ВЭУ снова переходит в рабочий режим.

Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ-600 составил 0,16; коэффициент

удельной выработки электроэнергии 560 кВтч/м², что значительно ниже среднестатистических значений; причина этого – относительно невысокая ветровая активность в районе, где установлена ВЭУ-600 (среднегодовая скорость равна 6 м/с) [7, 8].

Уровень надежности ВЭУ-600. Автоматизация ВЭУ и, следовательно, большое число элементов системы управления, обусловили большое число отказов системы управления. За начальный период эксплуатации на ВЭУ-600 была зафиксирована только одна серьезная механическая поломка, связанная с неисправностью в гидравлике подачи масла в коробку передач; время простоя при этом – 591 ч. Кратковременные остановки ВЭУ-600 по другим причинам представлены в табл. 3.

Основной причиной этих остановок являлось низкое напряжение на клеммах АГ ВЭУ. Это обусловлено слабой электрической связью ВЭУ с энергетической системой, при которой не выполняется требование $S_{ВЭУ}/S_{КЗ} \leq 0,02$. На зажимах АГ ВЭУ-600 $S_{КЗ} = 16,1$ МВА. Мощность короткого замыкания может быть рассчитана аналитически с учетом требований [9] или с помощью специализированных компьютерных программ. На рис. 5 представлена схема замещения для расчета мощности короткого замыкания на зажимах АГ ВЭУ-600.

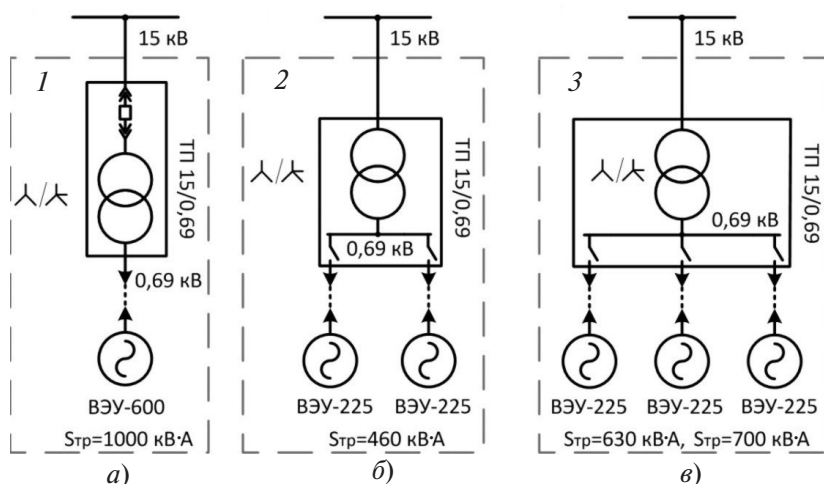


Рис. 3. Варианты подключения ВЭУ к линиям электропередачи 15 кВ в составе ВЭУ

Таблица 3

Причина вынужденного кратковременного простоя	Процент общего числа простоев, %	Возврат к работе ВЭУ
Низкое фазное напряжение ($U_{\phi} < 371$ В)	70	Автоматический (А) или дистанционный (Д)
Прекращение электроснабжения на ВЭУ	8,5	А или Д
Вибрация в ступице	7,0	Ручной
Перегрузка генератора по мощности	5,9	Д
Скорость ветра превысила 25 м/с	5,3	А
Перегрев генератора	3,3	А при $T \leq 100$ °С

Мощность короткого замыкания на зажимах АГ ВЭУ-600:

$$S_{K3} = \frac{\sqrt{3}U_{НОМ}^2}{x_{\Sigma}} = \frac{\sqrt{3}U_{НОМ}^2}{x_c + x_{л1} + x_{тр(О-10)} + x_{л2} + x_{трВЭУ}}, \quad (3)$$

где $U_{НОМ}$ – номинальное напряжение базисной ступени напряжения, к которой приводятся сопротивления элементов схемы замещения; x_c – сопротивление системы; $x_{л1}$ – суммарное сопротивление линии от ПС Северная-330 до ПС 110 кВ О-10 «Зеленоградск»; $x_{тр(О-10)}$ – сопротивление трансформатора на ПС О-10 «Зеленоградск», на который приходит ВЛ 15 кВ с I части ВП; $x_{л2}$ – суммарное сопротивление линии от ПС 110 кВ О-10 «Зеленоградск» до трансформатора 15/0,69 кВ ВЭУ-600; $x_{трВЭУ}$ – сопротивление трансформатора ВЭУ 15/0,69 кВ (сопротивления $x_{тр(О-10)}$, $x_{л2}$, $x_{трВЭУ}$ приведены к базисной ступени напряжения).

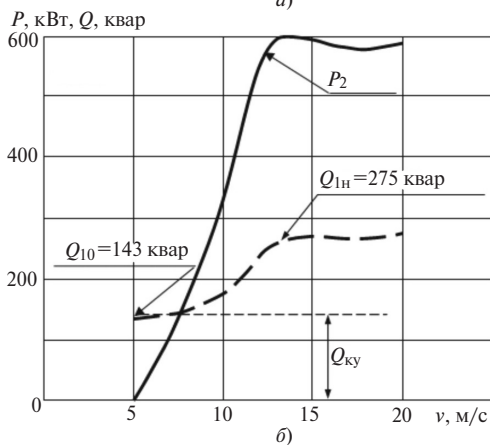
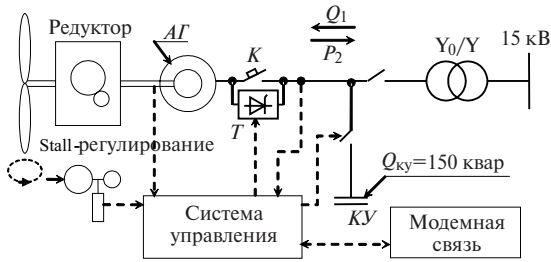


Рис. 4. Электрическая схема ВЭУ-600 (а) и зависимости активной и реактивной мощности от скорости ветра (б)

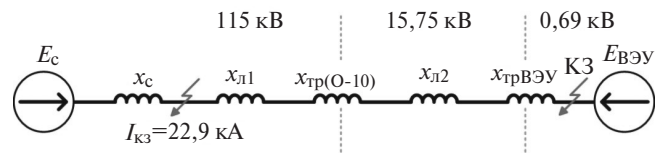


Рис. 5. Схема замещения для расчета мощности КЗ на зажимах АГ ВЭУ-600 (I_{K3} – ток короткого замыкания на шинах 110 кВ ПС Северная-330 в максимальном режиме)

Вторая причина – значительная реактивная мощность, потребляемая ВЭУ из сети (рис. 4,б) и значительные реактивные нагрузки, подключенные к линии электропередачи. Как известно, падение напряжения в линии электропередачи в значительной степени определяется значениями реактивной мощности (Q_n):

$$U_2 = U_1 - \left[\frac{P_n r_{12} + Q_n x_{12}}{U_{НОМ}} + j \frac{P_n x_{12} - Q_n r_{12}}{U_{НОМ}} \right], \quad (4)$$

где r_{12} и x_{12} – активное и индуктивное сопротивление соответственно; U_1 и U_2 – напряжение в начале и конце линии электропередачи.

Осциллограмма изменения активной мощности ВЭУ-600 перед остановом из-за перегрузки генера-

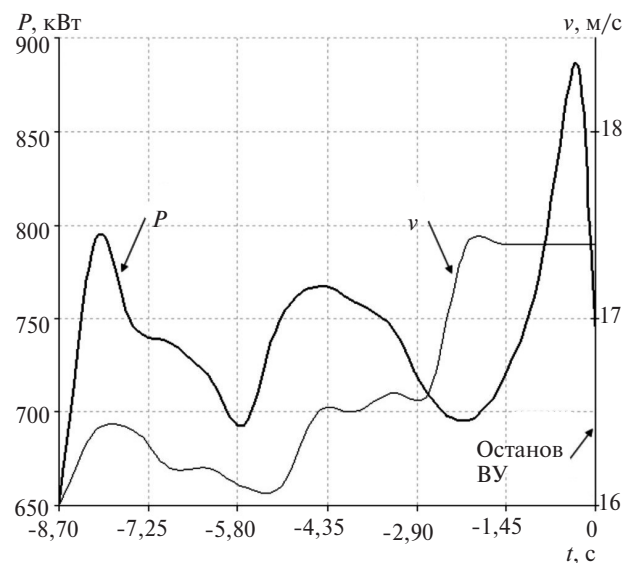


Рис. 6. График изменения активной мощности перед остановом ВЭУ-600

Таблица 4

Измеряемые величины		Значения	$K_{U,i}$, %	Коэффициенты n -гармонической составляющей				$K_{O(U,i)}$, %
				3-я	5-я	7-я	11-я	
Фазные напряжения (В)	U_A	408	1,98	1,77	-	-	-	2,33
	U_B	398	1,9	1,2	-	1,2	-	
	U_C	393	1,22	0,5	0,86	-	-	
Фазные токи (А)	I_A	101	10,2	9,66	0,7	1,53	1,64	9,82
	I_B	87	9,38	9,27	1,0	1,0	0,9	
	I_C	103	2,92	1,66	1,3	1,1	0,9	
Доза фликера	Фаза А	0,0055-0,0174						
	Фаза В	0,0058-0,0141						
	Фаза С	0,0062-0,0141						

тора по активной мощности представлена на рис. 6. Кратковременный скачок активной мощности и, как следствие, перегрузка АГ по активной мощности происходит ввиду инерционности динамической системы «Stall-регулирование – АГ» в момент резкого увеличения скорости при порыве ветра [10].

В табл. 4 приведены результаты исследований режима работы ВЭУ-600 [11] (скорость ветра 7 м/с), где $K_{U,I}$ – соответственно суммарные коэффициенты гармонических составляющих напряжения и тока; $K_{O(U,i)}$ – коэффициенты несимметрии напряжений и токов по обратной последовательности.

Анализ экспериментальных исследований показателей качества электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ-600, позволяет констатировать, что при значениях мощности до 120 кВт, выдаваемых ВЭУ в сеть, наблюдается значительная несимметрия и несинусоидальность токов, причем наиболее значимой является третья гармоника тока и напряжения. Токи третьих гармоник циркулируют по цепи: обмотка статора АГ – обмотка низкого напряжения силового трансформатора:

$$I_A^3 \approx I_B^3 + I_C^3. \quad (5)$$

Применение соединения обмоток силового трансформатора Δ/Y_0 снизило бы остроту проблем, связанных с качеством электроэнергии ВЭУ.

Анализ эксплуатационных режимов работы ВЭУ Vestas V27. Отличительными особенностями ВЭУ-225 по сравнению с ВЭУ-600 являются pitch-регулирование за счет поворота лопастей и наличие двух обмоток мощностью 50 и 225 кВт на статоре генератора (рис. 7). Генераторы с двумя обмотками на статоре используются для обеспечения более эффективной работы ВЭУ при слабом и сильном ветре (рис. 8). В диапазоне мощности от нулевого значения до 50 кВт, выдаваемой генератором в сеть, работает обмотка, рассчитанная на 50 кВт (рис. 7 и 8). При достижении мощности 50 кВт эта обмотка отключается, а к сети подключается обмотка мощностью 225 кВт. Для компенсации реактивной мощности используются, соответственно, конденсаторные батареи мощностью 37,5 и 75 квар (рис. 7). При снижении мощности до 10 кВт происходит обратное переключение. Опыт эксплуатации показал, что эти переключения на ВЭУ-225 происходят довольно часто, так как в центре диапазона переключений находится значение среднегодовой скорости ветра в месте расположения ВП 6,5 м/с, что следует учитывать при про-

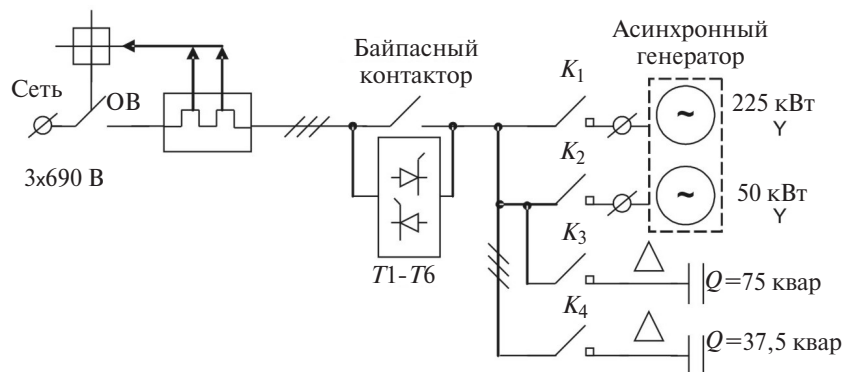


Рис. 7. Электрическая схема ВЭУ-225 (Т1-Т6 – тиристоры; K1, K2, K3, K4 – контакторы)

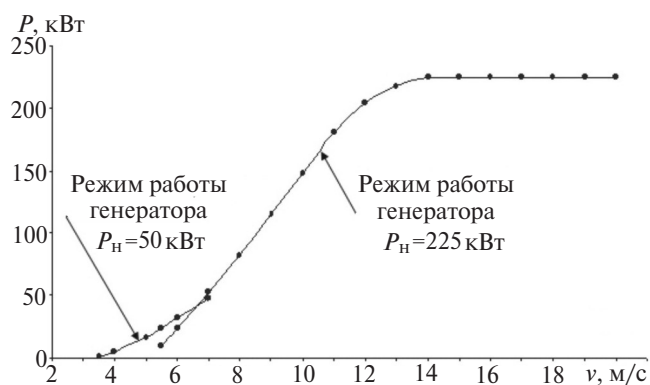


Рис. 8. Зависимости выдаваемой мощности ВЭУ-225 от скорости ветра

ектировании ВП на базе ВЭУ с похожим принципом работы.

Коэффициент удельной выработки электроэнергии ВЭУ-225 составил $563,3 \text{ кВтч/м}^2$, а коэффициент использования установленной мощности $0,185$.

Так же, как и у ВЭУ-600, изменения скорости ветра приводят к значительным изменениям активной и реактивной мощностей, токов и напряжения на зажимах генератора ВЭУ-225 (рис. 9). Следует отметить, что значительные уровни колебаний реактивной мощности до 190 квар, обусловленные потреблением реактивной мощности АГ ВЭУ в зависимости от ветровой нагрузки (рис. 9, е), оказывают существенное влияние на уровни напряжения у потребителей, подключенных к линиям выдачи мощности ВП (рис. 2).

Уровень надежности ВЭУ-225. В табл. 5 приведено число отказов всех двадцати ВЭУ-225 за год. Ус-

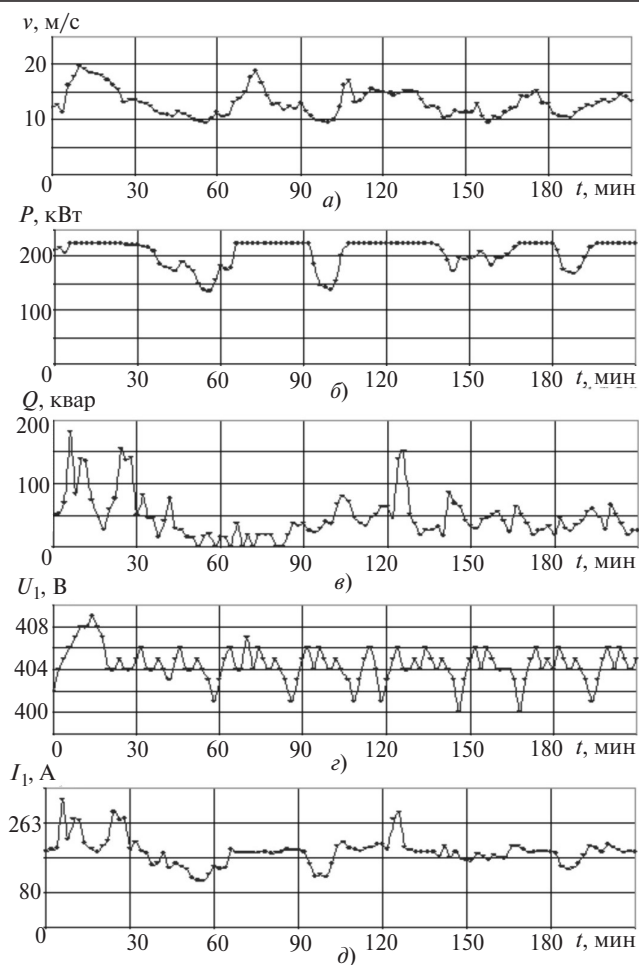


Рис. 9. Зависимости скорости ветра (а), активной (б), реактивной (в) мощности, напряжения (г) и тока (д) ВЭУ-225 № 4 от времени

тановлено, что наиболее часто встречающиеся отказы — это низкое напряжение на шинах генерато-

Таблица 5

Описание отказа	Число отказов	Номера ВЭУ с отказами
Ошибка процессора ввода/вывода	40	5,6,7,8,15
Сбой связи	49	2,4,7,8,10,11,14,15,18,19
Сбой 8 в СТ2123 Thyrist	50	6,14,15
Блок слежения не задействован	38	2,5,6,7,8,10,11,16,18
Ошибка чередования фаз	48	5,7,8,9,10,14
Высокое напряжение	34	2,8,9,11,18
Низкое напряжение	176	2,6,8,12,14,16,19,20
Сбой частоты	119	5,6,7,8,11,12,14,18,19
Реле генератора разомкнуто	30	6,8,9,15
Предохранительный фазокомпенсатор генератора 2 отключён	112	6,8,9,14,15,16
Отказ контроля поворота	31	8,14,16,19,20
Максимальное время автоповорота	20	2,12
Максимальное время работы гидравлического насоса	18	5,6
Температурный отказ гидравлического мотора	18	8,11,19

Низкая температура нижнего процессора	97	4,5,6,7,9,11,12,14,15,16, 18,20
Внешний датчик оборотов	37	6,9,10,16
Поворот лопастей	28	5,10,14,20
Поворот лопастей слишком мал	13	9,10
Слишком много автозапусков	22	2,5,6,7
Аварийная цепь разомкнута	24	6,7,8,9,12,14,15,19,20

ра. Согласно техническому проекту ВЭУ-225 нормально функционирует в диапазоне напряжений от -10% до $+6\%$ номинального напряжения на зажимах генератора [12]. Частые отключения ВЭУ свидетельствует о слабой электрической связи ВП с электроэнергетической системой. Третья по числу отказов причина связана с проблемами по компенсации реактивной мощности, а именно – отключением предохранительного фазокомпенсатора АГ.

Выводы. 1. Коэффициенты использования установленной мощности ВЭУ в составе ВП ($K_{уд} = 0,16$ для ВЭУ-600, $K_{уд} = 0,185$ для ВЭУ-225) значительно ниже среднестатистических значений, причиной чего является относительно невысокая ветровая активность в районе размещения ВП.

2. Анализ отключений ВЭУ показывает, что наибольшее их число происходит из-за снижения напряжения на зажимах АГ ниже допустимых значений, что обусловлено: слабой электрической связью ВП с электроэнергетической системой Калининградской области; большим значением реактивной мощности, потребляемой ВЭУ из электрической сети (рис. 4, 9); значительными нагрузками, подключенными к ЛЭП, соединяющим ВП с энергосистемой.

3. В процессе эксплуатации ВЭУ-225 подвержены ускоренному износу оборудования из-за частых переключений между обмотками статора генератора ВЭУ, так как в центре диапазона переключений лежит среднегодовая скорость ветра в месте установки ($6,5$ м/с).

4. При анализе качества электроэнергии, выдаваемой в сеть ВЭУ-600, выявлены значительная несимметрия и несинусоидальность токов и напряжений, причем наиболее значимой является третья гармоника. Применение соединения обмоток силового трансформатора Δ/Y_0 снизило бы остроту проблем, связанных с качеством электроэнергии ВЭУ.

Стандарты в области ветроэнергетики, существующие на сегодняшний день в России, требуют серьезной доработки ввиду неполного охвата всего спектра вопросов, связанных с проектированием, подключением и работой ВЭУ в составе энергосистемы и, в частности, с оценкой эксплуатационных показателей ВЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белей В.Ф., Нестеров М.А.** Исследование эксплуатационных режимов ветропарка в Калининградской области. – Материалы IV Международного балтийского морского форума. Калининград: Изд. БГАРФ, 2016, с. 235–242.
2. **Белей В.Ф., Селин В.В., Задорожный А.О., Никишин А.Ю., Елагин Н.Н., Соловей А.И.** Возобновляемые источники энергии: Справочник модуля. Калининград: КГТУ, 2015, 257 с.
3. **Белей В.Ф., Никишин А.Ю.** Ветроэнергетика России: анализ научно-технических и правовых проблем. – Электричество, 2011, No. 7, с 7–140.
4. **Задорожный А.О.** Анализ требований к работе ветроэлектростанций в составе энергосистемы. – XI Междунар. науч. конф. «Инновации в науке, образовании и бизнесе». 25–27 сентября, 2013. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013, ч. 1, с. 387–389.
5. **СТО РусГидро 03.01.102-2013.** Ветроэлектростанции. Основные требования, критерии выбора ветроэнергетического оборудования для ветроэлектростанций. М., 2013.
6. **Transpowerstrombertragungs GmbH, Grid Code for high and extra high voltage.** Grid Connection Code: High and extra high voltage, Bayreuth, 1st April 2009.
7. **Белей В.Ф.** Научные основы работы ветропарков в составе электроэнергетической системы. – Известия КГТУ, 2003, No. 3, с. 38–46.
8. **Белей В.Ф.** Ветроэнергетические установки: тенденции развития, проблемы подключения и эксплуатации в составе электроэнергетических систем. – Малая энергетика, 2005, No. 1–2, с 6.
9. **РД 153-34.0-20.527-98.** Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования/ Под ред. Б.Н. Неклепаева. Утв. РАО ЕЭС России. МЭИ, 1998.
10. **Белей В.Ф.** Рекомендации к проектированию ветропарков на основе опыта эксплуатации ветропарка в Калининградской области. – Energy Fresh, 2011, No. 1(3), с. 16–21.
11. **Ragheb M.** Control of wind turbines. 2016: Electronic resource. URL: <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Control%20of%20Wind%20Turbines.pdf>
12. **Ветроэнергетические установки:** <https://www.vestas.com>

[28.03.2018]

А в т о р ы: 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». Заведующий кафедрой Калининградского государственного технического университета (ФГБОУ ВО «КГТУ»).

Задорожный Андрей Олегович окончил Калининградский государственный технический университет в 2011 г. Аспирант кафедры «Электрооборудование судов и электроэнергетика ФГБОУ ВО «КГТУ».

Analyzing the Experience Gained from Operation of the Wind Farm in the Kaliningrad Region

BELEY Valery F. (Kaliningrad State Technical University (KSTU), Kaliningrad, Russia) –Head of the Department, Professor, Dr. Sci (Eng.)

ZADOROZHNY Andrey O. (KSTU, Kaliningrad, Russia) – Graduate Student

For drawing attention to the development of wind power in the Russian Federation and for accumulating experience with operation of windmills, a wind farm with the total installed capacity equal to 5.1 MW has been constructed in the Baltic Sea coastal area. The wind farm consists of Vestas V27 and Wind World 4200/600 wind mills. Both these windmill models are related to third-generation devices and use squirrel-cage induction generators. The article presents the results from investigating the operating conditions of this wind park. A number of drawbacks revealed in the wind farm operation are pointed out, and recommendations that may be useful in implementing new wind power projects are suggested.

K e y w o r d s: wind farm, windmill, wind power potential, electric power quality

REFERENCES

1. **Beley V.F. and Nesterov M.A.** *Materialy IV Mezhdunarod. Morskogo foruma* (Materials of IV Intern. Baltic marine forum). Kaliningrad. Publ. «BGARF», 2016, pp. 235–242.
2. **Beley V.F., Selin V.V., Zadorozhnyi A.O., Nikishin A.Yu., Yelagin N.M., Solovei A.I.** *Vozobnovlyayemye istochniki energii: Spravochnik modulya* (Renewable energy sources. References book of the module). Kaliningrad. Kaliningrad State Technical University (KSTU), 2015, 257 p.
3. **Beley V.F., Nikishin A.Yu.** *Elektrichestvo* – in Russ. (Electricity), 2011, No. 7, pp. 7–14.
4. **Zadorozhnyi A.O.** *Materialy XI Mezhdunarod. naych. konf. «Innovatsii v nauke, obrazovanii i biznese»* (Materials of XI Intern. scientific and technical conf. «Innovation are in science, education and business»). September 25–27, 2013, Kaliningrad: KSTU, 2013, part 1, pp. 387–389.
5. **STO RusGidro 03.01.102-2013.** *Vetroelektrostantsii. Osnovnye trebovaniya, kriterii vybora vetroenergeticheskogo oborudovaniya dlya vetroelektrostantsii* (Windpower stations. The basic requirements, criteria choice of wind energetic equipment for wind-power stations). Moscow, 2013.
6. **Ttranspowerstrombertragungs GmbH**, Grid Code for high and extra high voltage. Grid Connection Code: High and extra high voltage, Bayreuth, 1st April 2009.
7. **Beley V.F.** *Izvestiya KSTU – in Russ. (News of the KSTU)*, 2003, No. 3, pp. 38 – 46.
8. **Beley V.F.** *Malaya energetika – in Russ. (Small energy)*, 2005, No. 1–2, p. 6.
9. **RD 153-34.0-20.527-98.** *Rukovodyashchiye ukazaniya po raschetu tokov zamykaniya i vyboru elektrooborudovaniya/Pod red. B.N. Neklepayeva* (Leading pointing upon settlement of current of short circuit.../Edit. by B.N. Neklepayev). Moscow Power Engineering Institute, 1998.
10. **Beley V.F.** *Energy Fresh*, 2011, No. 1(3), pp. 16–21.
11. **Ragheb M.** *Control of wind turbines*. 2016: Electronic resource. URL: <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Control%20of%20Wind%20Turbines.pdf>
12. **Vetroenergeticheskiye ustanovki** (Wind-driven powerplants). Electronic resource. URL: <https://www.vestas.com>

[28.03.2018]