

Однолопастные ВЭУ малой мощности. Двухступенчатые центробежные регуляторы частоты вращения ветроколес для них

Рецензия эксперта на статью получена 12.01.2022 [The expert review of the article received on January 12, 2022].

Одним из перспективных направлений развития ветроэнергетики является ветроэнергетика малых и сверхмалых мощностей, к которым относятся, согласно международной классификации IEC 61400, ветроустановки с ометаемой поверхностью площадью до 200 м², с выходным напряжением до 1000 В по переменному току, до 1500 В по постоянному и выходной мощностью до 50 кВт (в некоторых странах выходная мощность — до 100 кВт, в Канаде — до 300 кВт [1]).

Основное соотношение между параметрами горизонтально-осевой ветроустановки и выходной мощностью определяется формулой [2]:

$$P = C_p \rho \eta \frac{S_{\text{ом}} v^3}{2} = C_p \rho \eta \frac{\pi R^2 v^3}{2}, \quad (1)$$

здесь P — мощность горизонтально-осевой ветроэнергетической установки; v — скорость воздушного потока (ветра), м/с; C_p — коэффициент преобразования энергии ветра; $\eta = \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{мульти}}$, где $\eta_{\text{ген}}$ — коэффициент полезного действия генератора, $\eta_{\text{мульти}}$ — КПД мультипликатора (при его отсутствии $\eta_{\text{мульти}} = 1,0$); ρ — удельная плотность воздуха при температуре 18°C, $\rho = 1,225$ кг/м³; $S_{\text{ом}}$ — площадь максимального сечения и ротора, м²; R — радиус ветроколеса (ВК).

Между коэффициентом использования энергии ветра C_p , быстроходностью Z и относительным моментом $\bar{M}'$, развиваемым ветродвигателем, существует следующее соотношение:

$$C_p = \bar{M}' Z. \quad (2)$$

Момент, развиваемый ветродвигателем, определяется выражением:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{30P}{\pi n}, \quad (3)$$

где ω — угловая скорость вращения ветроколеса [рад/с], $\omega = \pi n/30$; n — частота вращения ветроколеса, мин⁻¹.

От величины быстроходности ветроэнергетической установки зависит величина порождаемого её лопастями и генератором акустического шума

Быстроходность ветроколеса Z определяется выражением:

$$Z = \omega R / v. \quad (4)$$

где v — скорость ветра, м/с; R — радиус ветроколеса.

Анализируя формулы (1)–(4) можно отметить, что мощность, развиваемая ВЭУ, не зависит от числа лопастей, а определяется лишь площадью ометаемой поверхности ветроколеса. Для уменьшения массы ВЭУ мощностью до 10–20 кВт они должны иметь прямой привод генератора от ветроколеса и иметь максимальную быстроходность до 8–12.

Величина быстроходности Z определяется коэффициентом заполнения суммарной площади лопастей, отнесённой к ометаемой поверхности ветроколеса:

$$k_{\text{зап}} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{S_{\text{ом}}}, \quad (5)$$

где S_i — площадь лопасти, м²; m — число лопастей, шт.

От величины быстроходности зависит величина порождаемого лопастями и генератором акустического шума, поэтому установки, стоящие вблизи жилых строений, должны иметь малую быстроходность, не превышающую $Z = 2–5$. Частоты вращения ветроколес таких ВЭУ (мощностью 5–10 кВт), как правило, не превышают 150 мин⁻¹.

При таких малых частотах вращения ветроколеса ВЭУ имеют сравнительно большую массу и стоимость, главным образом за счёт большей материалоемкости и стоимости генератора.

УДК 621.311.24. Научная специальность: 05.14.08.

Однолопастные ВЭУ малой мощности. Двухступенчатые центробежные регуляторы частоты вращения ветроколес для них

С. В. Грибков, к.т.н., академик [РИА](#), учёный секретарь Комитета по проблемам использования возобновляемых источников энергии [Российского Союза научных и инженерных обществ](#) (Комитет ВИЭ [РосСНИО](#)), генеральный директор [ООО «НИЦ «Виндэк» \(Windec\)](#) (г. Москва)

В статье рассматриваются аспекты эффективности применения однолопастных ветроэнергетических установок (ВЭУ) малой мощности, вопросы регулирования частоты вращения ветроколеса с помощью центробежных регуляторов частоты вращения, выбор и обоснование «антифлюгерного» способа регулирования частоты вращения ветроколес однолопастных ВЭУ, рассматриваются конструкции центробежных регуляторов однолопастных ВЭУ.

Ключевые слова: однолопастная ветроэнергетическая установка малой мощности, ВЭУ, косой кардан, однолопастное ветроколесо, «флюгерное» и «антифлюгерное» регулирование, центробежный регулятор, конструкция центробежного регулятора.

UDC 621.311.24. The number of scientific specialty: 05.14.08.

Small wind turbine with single-blade. Two-stage centrifugal wind wheel speed controllers of small wind turbine with single-blade

S. V. Gribkov, PhD, Academician of the [Russian Engineering Academy \(REA\)](#), scientific secretary of the Committee on the Problems of the Use of Renewable Energy Sources of the [Russian Union of Scientific and Engineering Societies \(RES Committee of RosSNIIO\)](#), general director of [“Windec” Scientific Research Center, LLC](#) (Moscow city)

The article considers aspects of the effectiveness using of small wind turbine with single-blade (SWT), the issues of regulating the speed of the wind wheel using centrifugal speed controllers, the choice and justification of an “anti-wind-vane” mode method for regulating the speed of the wind wheels with single-blade of SWT, the designs of centrifugal regulators of SWT with single-blade are considered.

Key words: small wind turbine with single-blade, skew cardan, single-blade wind wheel, speed control in the “wind-vane” and “anti-wind-vane” modes, centrifugal regulator, design of the centrifugal regulator.

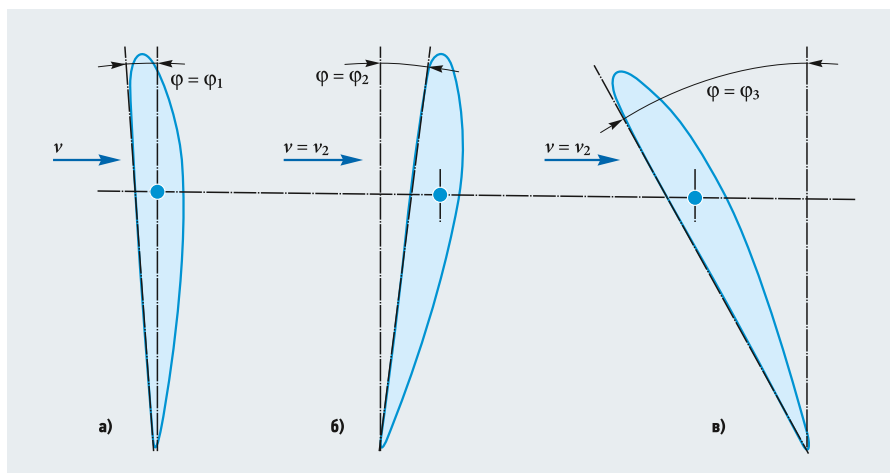


Рис. 1. Положения лопасти однолопастной ВЭУ в различных режимах работы ВЭУ (а — ветроколесо находится в режиме разгона, угол установки лопасти $\varphi = \varphi_1$ оптимальный, скорость ветра v меньше расчётной; б — антифлюгерный режим регулирования частоты вращения ветроколеса, предельный угол установки лопасти $\varphi = \varphi_2$ отрицательный, скорость ветра $v = v_2$ значительно больше расчётной; в — флюгерный режим регулирования частоты вращения ветроколеса, угол установки лопасти $\varphi = \varphi_3$ положительный, скорость ветра $v = v_2$ больше расчётной)

В случае, когда к массе ВЭУ предъявляются жёсткие требования по снижению массы, невзирая на некоторое увеличение излучаемого шума, то ВЭУ должна быть быстроходной. Величина быстроходности в таких ВЭУ может достигать значений $Z = 8-12$. Некоторое увеличение шума от таких ВЭУ будет определяться качеством ветроколеса и генератора. Как показывает практика их разработки и испытаний, величина генерируемого лопастями шума до начала регулирования ветроколеса, которое начинается после достижения расчётной скорости ветра $v_{\text{расч}}$ ($v_{\text{расч}}$ составляет 9–12 м/с в зависимости от типа ВЭУ), не превышает 45–50 дБ(А). При скорости ветра больше расчётного значения общий фоновый шум ветра уже значителен, и повышенный шум ветроколеса становится менее заметным.

Быстроходные ветровые установки имеют $k_{\text{зап}} \leq 0,15$. К ним могут относиться ВЭУ, имеющие от одной до трёх лопастей. Лопастей двух- и трёхлопастных ВЭУ получаются довольно узкими, и их прочность зачастую недостаточна, о чём говорят примеры изготовления таких ВЭУ. Например, работа установки «ВЭУ-01» мощностью 100 Вт, изготавливаемой Воронежским авиационным заводом, сопровождалась навиванием лопасти на мачту. Поэтому быстроходные ВЭУ должны иметь одну, но более прочную лопасть.

Применение однолопастных ВЭУ, к сожалению, не нашло широкого применения, что связано со сложностью их запуска и регулирования частоты вращения. Вопросы запуска решаются за счёт применения косоугольного кардана [3], обеспечивающего надёжный запуск ВЭУ даже при низких скоростях ветра от 2 м/с. В данной статье рассматриваются вопросы регулирования частоты вращения ветроколеса однолопастных ВЭУ.

Способы регулирования частоты вращения ветроколес однолопастных ВЭУ

Наиболее перспективным способом регулирования частоты вращения ветроколеса однолопастных ВЭУ, обеспечивающим их работу в широком диапазоне скоростей ветра (от 2 до 55–60 м/с), является аэродинамический способ, при котором изменяется угол установки лопасти. Для регулирования частоты вращения ВК возможно два режима изменения положения лопасти: «флюгерное» и «антифлюгерное».

На рис. 1 представлены положения лопасти ветроколеса при антифлюгерном и флюгерном способах регулирования частоты вращения ветроколеса. При скорости ветра более 2 м/с ветроколесо начинает разгоняться по естественной характеристике — участок а–б скоростной характеристики изменения частоты вращения ветроколеса $n(v)$ (рис. 2). Угол установки лопасти $\varphi = \varphi_1$ (рис. 1а) является оптимальным для разбега ветро-

колеса до расчётной частоты вращения, при которой выходная мощность ветроустановки достигнет расчётной величины (точка б скоростной характеристики).

При антифлюгерном регулировании лопасть перемещается в сторону отрицательных углов (рис. 1б), подъёмная сила лопасти уменьшается, и частота вращения стабилизируется — это участок б–с скоростной характеристики (рис. 2) однолопастной ВЭУ «Виндэк ВЭУ-02» мощностью 200 Вт. При увеличении скорости ветра необходимо уменьшать подъёмную силу, действующую на лопасть.

Это реализуется следующим образом: при увеличении скорости ветра частота вращения начинает увеличиваться, при этом рейка центробежного груза под действием пары центробежных сил F_1-F_2 стремится занять положение в плоскости вращения ветроколеса, то есть переместиться в плоскость, перпендикулярную оси вращения $O-O'$, угол установки лопасти становится ещё более отрицательным, подъёмная сила уменьшается, и частота вращения снижается.

Каждой скорости ветра будет соответствовать определённая величина подъёмной силы, для чего должно соблюдаться условие равновесия моментов сил, действующих на рейку центробежного регулятора, жёстко связанную с лопастью, и противодействующей силы пружины:

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = F_{\text{пр}}(\varphi) \frac{D_{\text{пр}} - d_{\text{пр}}}{2}, \quad (6)$$

где F_1 и F_2 — пара сил, действующих на рейку центробежного груза; l_1 и l_2 — расстояния от оси вращения до точек приложения сил F_1 и F_2 ; $F_{\text{пр}}(\varphi)$ — противодействующая сила пружины; $D_{\text{пр}}$ — диаметр пружины; $d_{\text{пр}}$ — диаметр проволоки пружины.

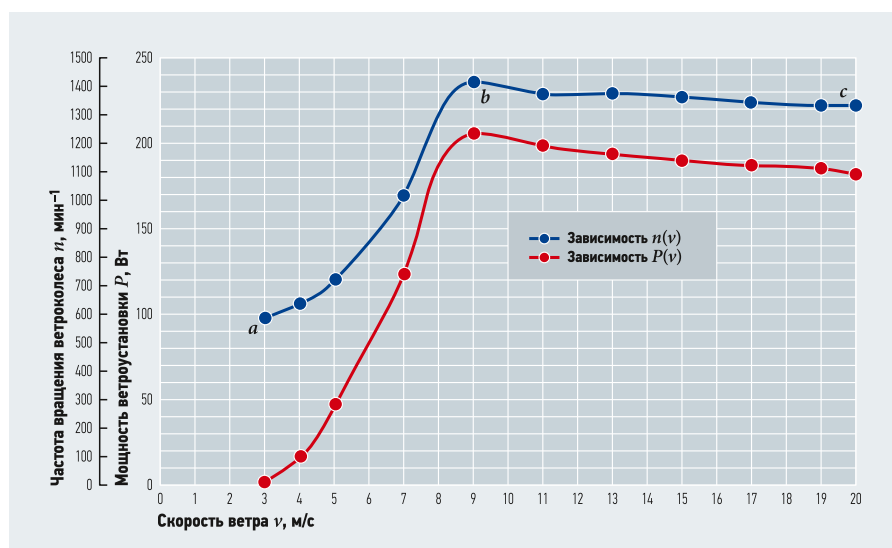


Рис. 2. Скоростная $n(v)$ и мощностная $P(v)$ характеристики ветроустановки «Виндэк ВЭУ-200»

Другим возможным способом регулирования частоты вращения ветроколеса является флюгерный способ регулирования, при котором положение лопасти изменяется в сторону положительных углов $\varphi = \varphi_3$ (рис. 1в), и в пределе лопасть могла бы занять положение «вдоль ветра», то есть пропуская через себя весь поток воздуха, но с центробежным регулятором максимальный угол может составлять не более $(\varphi_1 + 45^\circ)$.

Проведённые эксперименты показали, что при флюгерном регулировании выходная характеристика имеет отрицательный статизм, то есть с увеличением скорости ветра будет расти и частота вращения, что является крайне нежелательным из-за возможного разрушения лопасти. Поэтому вариант флюгерного регулирования в дальнейшем рассматриваться не будет.

Конструкции и принцип действия центробежных регуляторов однолопастных ВЭУ

Реализовать рассмотренный способ регулирования частоты вращения ветроколеса возможно с помощью разработанного центробежного двухступенчатого регулятора, ближайшим аналогом которого может быть центробежный регулятор двухлопастной ветроэнергетической установки [6].

Конструкция двухступенчатого центробежного регулятора частоты вращения однолопастной ВЭУ, представленная на рис. 3, состоит из следующих деталей и узлов: корпус регулятора 1, в качестве которого может быть как корпус генератора (поз.1), так и специальный корпус регулятора, который будет присоединяться к корпусу генератора с помощью фланцевого соединения; в специально сделанных стойках корпуса 1 размещены медно-графитовые подшипники скольжения 7, в которых крепится и может поворачиваться на небольшой угол – α сам регулятор, состоящий из косоугольного кардана 2, в двух подшипниках качения 3 которого вращается вал регулятора 4.

На одном конце вала регулятора 4 крепится через переходник (он на рис. 3 не показан) лопасть 5, рейка регулятора 6, противодействующая пружина 3, которая одним концом упирается в тело кардана, а другим — в рейку центробежного регулятора 6. На другом конце вала регулятора 4 размещён навинчивающийся по резьбе балансирующий груз 9 с контрящей гайкой 10. Корпус генератора 1 приводится во вращение однолопастным ветроколесом с лопастью 5, который под действием ветра вращается с угловой скоростью ω по часовой стрелке.



ВЭУ-0,8 производства ООО «НИЦ «Виндэк»

Регулятор имеет два режима работы — режим пуска и режим ограничения частоты вращения ветроколеса.

1. Режим пуска. Первоначальное положение лопасти 5 со стержнем 4 и грузом 9 может быть любым. Допустим, что все они занимают положение, показанное на рис. 3б, то есть по оси а-б, перпендикулярной оси вращения ветроколеса О-О'. Под действием ветра, имеющего скорость v , лопасть 5 вместе с валом 4, пружиной 3, уравнивающим грузом 9, контрящей гайкой 10 и карданом 2 (ось а-б) отклоняются в положение оси с-д, при этом угол наклона лопасти в силу свойств косоугольного кардана увеличивается — ветроколесо

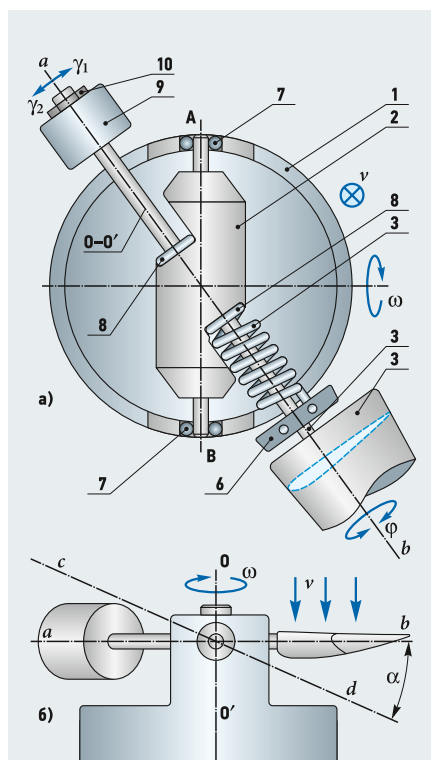


Рис. 3. Конструкция ветроколеса однолопастной ВЭУ с двухступенчатым центробежным регулятором частоты вращения ветроколеса (1 — корпус регулятора; 2 — косоугольный кардан; 3 — пружина кручения; 4 — вал; 5 — лопасть; 6 — рейка центробежного регулятора; 7 — подшипники скольжения кардана; 8 — подшипники качения вала; 9 — балансирующий груз; 10 — контрящая гайка)

начинает раскручиваться, и его ось под действием центробежных сил занимает положение а-б, перпендикулярное оси вращения корпуса генератора О-О'.

2. Режим разгона. Ветроколесо начинает раскручиваться по естественной характеристике (рис. 2, участок а-б). Плоскость вращения ветроколеса перпендикулярна оси вращения генератора О-О'. Угол установки лопасти $\varphi = \varphi_1$ оптимальный для разбега.

3. Режим ограничения частоты вращения — режим работы центробежного регулятора.

При достижении ветроколесом расчётной скорости (точка б на скоростной характеристике, рис. 2) величина пары сил F_1-F_2 , действующей на рейку центробежного регулятора, становится больше противодействующей силы пружины, работающей на кручение, и рейка начнёт перемещаться в сторону уменьшения угла γ , отсюда угол установки лопасти φ будет уменьшаться. В зависимости от частоты вращения ветроколеса, величин пары сил F_1-F_2 , приложенных к рейке регулятора, и величин противодействующей силы пружины $F_{пр}(\varphi)$, рейка центробежного груза изменяет своё угловое положение от угла γ_1 до угла γ_2 (предельное значение), при этом угловое положение лопасти меняется от угла φ_1 до угла φ_2 , обеспечивая тем самым ограничение частоты вращения ветроколеса.

От величины жёсткости пружины зависит статизм как скоростной, так и выходной характеристик ветроэнергетической установки. Жёсткость пружины определяет и устойчивость работы ветроколеса. С уменьшением жёсткости пружины статизм характеристики увеличивается, и, как показали исследования работы регулятора, возможно уменьшение мощности и снижение устойчивости работы, возникновение вибрационного режима работы регулятора.

Начало работы регулятора определяется предварительным угловым натягом пружины $F_{пр}(\varphi_1)_0$:

а) ветроколесо находится в режиме разгона, угол установки лопасти $\varphi = \varphi_1$ оптимальный, скорость ветра $v < v_{расч}$;

б) антифлюгерный режим регулирования частоты вращения ветроколеса, угол установки лопасти $\varphi = \varphi_2 < \varphi_1$ и уменьшается в сторону отрицательных значений углов, скорость ветра $v = v_2 > v_{расч}$;

в) антифлюгерный режим регулирования частоты вращения ветроколеса, угол установки лопасти становится ещё более отрицательным, достигая предельной отрицательной величины $\varphi = \varphi_3 = -10^\circ$, скорость ветра $v = v_3 > v_{расч}$.

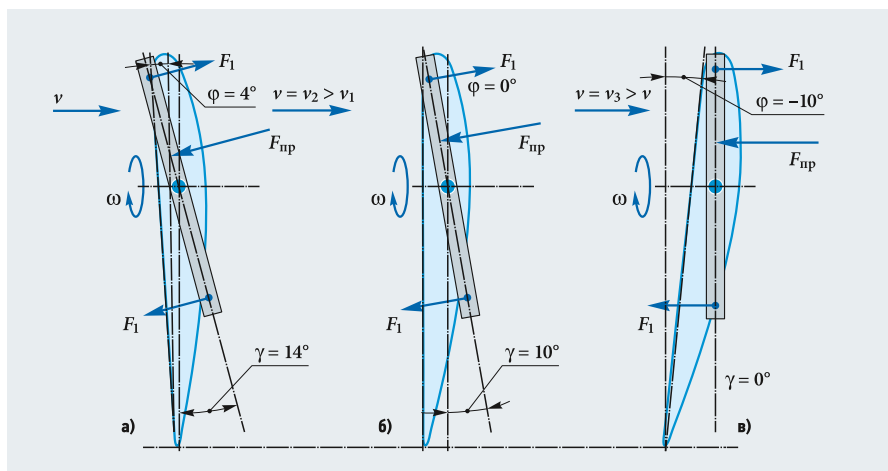


Рис. 4. Режимы антифлюгерного регулирования частоты вращения ветроколеса однолопастной ВЭУ центробежным регулятором

На рис. 4 представлены эпюры сил, действующих на рейку центробежного регулятора при:

- а) разгоне ветроколеса;
- б) при работе регулятора в диапазоне скоростей ветра от $v_{расч}$ до $v_{пред}$;
- в) при предельном угле регулирования положения лопасти $\varphi = \varphi_3 = -10^\circ$,

На рис. 4 также обозначены: $F_1 - F_1$ — пара сил, зависящих от частоты вращения ветроколеса ω ; $F_{пp}(\gamma)$ — сила, развиваемая пружиной, противодействующей повороту рейки центробежного регулятора; $F_{пp}(\varphi_1)_0$ — сила предварительного

натяжения пружины. Особенности режимов работы центробежного регулятора в антифлюгерном и флюгерном режимах описаны в табл. 1.

Конструктивное исполнение регуляторов ВЭУ мощностью 200 и 500 Вт с симметричной рейкой представлено на рис. 5, а мощностью 1 кВт с несимметричной рейкой — на рис. 6. На рис. 5 и 6 на регуляторах для понимания принципа действия сделаны соответствующие разметки для осей А–В и а–б, углов поворота рейки регулятора γ , а на рис. 6а показан оптимальный угол установки лопасти φ .

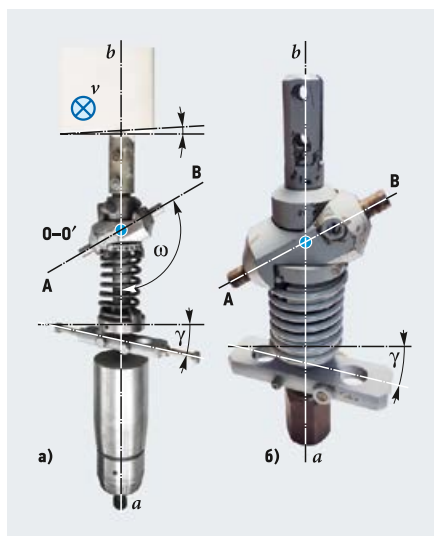


Рис. 5. Центробежные регуляторы однолопастных ветроустановок [а — «Виндэк ВЭУ-05» (500 Вт), б — «Виндэк ВЭУ-02» (200 Вт)]

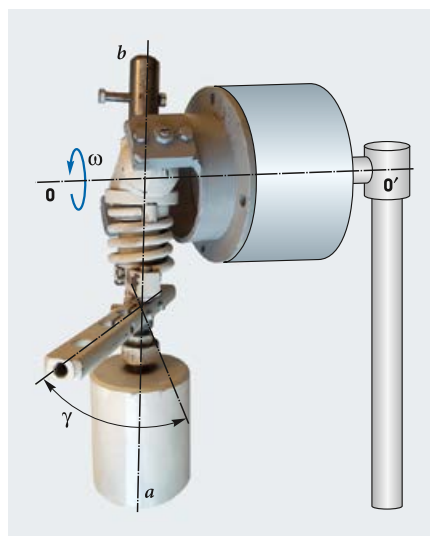


Рис. 6. Центробежный регулятор однолопастной ветроэнергетической установки «Виндэк ВЭУ-01» мощностью 1 кВт

Режимы работы центробежного регулятора однолопастной ВЭУ

табл. 1

Режим	Особенности
Антифлюгерный режим. Характеристика $n = n(v)$ имеет положительный статизм. Статизм характеристики зависит от жёсткости пружины	Угол наклона рейки относительно плоскости вращения ветроколеса $\gamma_1 < 45^\circ$, и рейка регулятора под действием пары сил $F_1 - F_1$ движется по часовой стрелке, при этом угол γ_2 уменьшается до нуля, а угол $\varphi = \varphi_2$ может составлять до -10° (в пределе). В этом случае частота вращения ветроколеса стабильна либо уменьшается
Флюгерный режим. Характеристика $n = n(v)$ имеет отрицательный статизм, ветроколесо может пойти «вразнос»	Угол наклона рейки относительно плоскости вращения ветроколеса $\gamma_1 > 45^\circ$, и рейка под действием пары сил $F_1 - F_1$ движется против часовой стрелки, при этом угол γ_2 увеличивается и становится больше угла первоначальной установки лопасти, то есть $\gamma_2 > \gamma_{20}$, а угол установки лопасти φ в пределе становится равным первоначальному углу установки φ_0 плюс 45° , поскольку $\varphi_0 = 4^\circ$, то $\varphi = 49^\circ$. В этом случае пара сил $F_1 - F_1$ будет направлена к оси вращения ветроколеса О–О'. Предельное положение рейки регулятора — вдоль оси вращения

В отличие от ранее рассмотренной конструкции рис. 3, на рис. 5 и 6 рейка центробежного регулятора перенесена на другой конец вала — к уравновешивающему грузу, что сразу позволяет немного снизить массу данного груза.

Выводы

1. Мощность горизонтально-осевых ветроустановок не зависит от числа лопастей и определяется площадью ометаемой поверхности ветроколеса (то есть его диаметром), коэффициентом преобразования энергии ветра (то есть качеством профиля лопасти), плотностью воздуха, КПД генератора (при прямом приводе генератора от ветрового колеса) и кубом скорости ветра.
2. Возможны два способа регулирования частоты вращения ветроколеса за счёт изменения угла установки лопасти (антифлюгерный и флюгерный).
3. При антифлюгерном регулировании ветроколесо не идёт «вразнос» (внешняя характеристика имеет положительный статизм).
4. Угол положения лопасти ветроколеса при антифлюгерном регулировании меняется в диапазоне $-15^\circ \dots -10^\circ$.
5. При флюгерном регулировании угол изменения положения лопасти изменяется относительно первоначального угла положения лопасти до $+45^\circ$ (ветроколесо может пойти «вразнос» при увеличении скорости ветра).
6. Разработаны и рассмотрены конструкции центробежных регуляторов частоты вращения для однолопастных ветроустановок, имеющих мощность 200 Вт, 500 Вт и 1,0 кВт.

1. Pitteloud J. Summary Small Wind World Report 2016 [Электр. текст]. World Wind Energy Association (WWEA); New Energy. Режим доступа: small-wind.org. Дата обраб.: 14.12.2021.
2. Фатеев Е.М. Ветроэнергетика и ветроустановки. — М.: Сельхозгиз, 1957. 545 с.
3. Грибков С.В. Особенности запуска однолопастных ветроэнергетических установок малой мощности // Журнал СОК, 2022. №2. С. 68–71.
4. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. Wind energy explained: Theory, design, and application. 2nd Edition. John Wiley & Sons. 2010. 704 p.
5. Грибков С.В. Современное состояние малой ветроэнергетики // Новое в российской электроэнергетике, 2017. №7. С. 58–74.
6. Грибков С.В. Развитие малой ветроэнергетики в мире и России. Комплексы гарантированного электрообеспечения / Альтернативная энергетика в регионах России: Мат. молодёжн. науч. конф. (г. Астрахань, 5–7.12.2018); под ред. Л.Х. Зайнутдиновой и М.Г. Тягунова. — Астрахань: Изд. Сорокин Р.В., 2018. 304 с.
7. А.с. SU 1118796 A1. МПК F 03 D 7/04. Центробежный регулятор частоты вращения ветроколеса / И.А. Бабинцев. Заявит.: НПО «Ветроэнь»; заявл.: 28.12.1981; опубл.: 15.10.1984. Бюл. №38.
8. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учебник для втузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Наука, 1988. 640 с.

References — see page 80.

Small wind turbine with single-blade. Two-stage centrifugal wind wheel speed controllers of smallwind turbine with single-blade. Pp. 74–77.

S. V. Gribkov, PhD, Academician of the Russian Engineering Academy (REA), scientific secretary of the Committee on the Problems of the Use of Renewable Energy Sources of the [Russian Union of Scientific and Engineering Societies](#) (RES Committee of [Ros-SNIO](#)), general director of [“Windec” Scientific Research Center](#), LLC (Moscow city)

1. Summary small wind world report 2016. WWEA; New Energy. Web-source: small-wind.org. Access data: December 14, 2021.
2. E.M. Fateev. *Vetrodvigateli i vetroustanovki* [Wind turbines and wind turbines]. Moscow. Sel'khozgiz [State Publishing House of Agricultural Literature of the USSR (“Selkhozgiz” Publishers)]. 1957. 545 p. [In Russian]
3. S.V. Gribkov. *Osobennosti zapuska odnolopastnykh vetrojenergeticheskikh ustanovok maloj moshhnosti* [Features of launching single-blade low-power wind turbines]. *Zhurnal San-tehnika, otoplenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2022. No. 2. Pp. 68–71. [In Russian]
4. J. F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rogers. Wind energy explained: Theory, design, and application. 2nd Edition. John Wiley & Sons. 2010. 704 p.
5. S.V. Gribkov. *Sovremennoe sostojanie maloj vetrojenergetiki* [The current state of small wind power industry]. *Novoe v rossijskoj jelektrouenergetike* [“New in the Russian energy industry” Magazine]. 2017. No. 7. Pp. 58–74. [In Russian]
6. S.V. Gribkov. *Razvitie maloj vetrojenergetiki v mire i Rossii. Kompleksy garantirovannogo jelektrouabzhenija* [Development of small wind energy in the World and Russia. Complexes of guaranteed power supply]. *Alternativnaja jenergetika v regionah Rossii (AJeR-2018): Mat. molodezhn. nauch. konf.* [Alternative energy in the regions of Russia (AJeR-2018): Proc. of the Youth scientific conference]. December 5–7, 2018. Under the scientific editorship of L.Kh. Zainutdinova and M.G. Tyagunov. Astrakhan. Publisher: R.V. Sorokin. 2018. 304 p. [In Russian]
7. A.s. [Copyright certificate of the USSR] SU 1118796 A1. IPC F 03 D 7/04. *Tsentrobezhnyj reguljator chastoty vrashhenija vetrokolesa* [The centrifugal speed controller of the wind wheel]. Inv.: I.A. Babintsev. Appl.: NPO “Vetroen” [Research and Production Association “Vetroen”]. Decl. on December 28, 1981; publ. on October 15, 1984. Bull. No. 28. [In Russian]
8. I.I. Artobolevskij. *Teorija mehanizmov i mashin: uchebnik dlja vtuzov* [The theory of mechanisms and machines: A textbook for technical colleges]. 4th Edition, rev. and exp. Moscow. Nauka [“The science” (“Nauka”) Publishers]. 1988. 640 p. [In Russian]