РАЗДЕЛ II. ДИССЕМИНАЦИЯ ИННОВАЦИОННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОПЫТА

УДК 621.548

ОБЗОР ОРИГИНАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАЛОЙ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Андрианова Людмила Прокопьевна

д. техн. наук, профессор

Хазиева Регина Тагировна

канд. техн. наук, доцент

Васильев Петр Игоревич

Голубев Дэнис Михайлович

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация: В статье приведен обзор оригинальных конфигураций ветродвигателей (ВД) для построения надежных, энергоэффективных и экологичных автономных ветроэнергоустановок (ВЭУ) и электростанций (ВЭС) малой мощности. Приведены конструктивные схемы, компонентный состав и описание принципа действия для всех, представленных в обзоре, конфигураций ВД, ветроэнергоустановок и ветроэлектростанции: ВД с частичным или полным перекрытием ветрового потока при штормовых скоростях; ВД с усовершенствованной конструкцией ветровых лопастей для работы со сниженными шумовыми характеристиками; ВД с системой ограничения скорости вращения для работы в условиях повышенных скоростей; ВЭУ с горизонтальной осью вращения с ветроколесами с лопастями плоско-выпуклой формы, обеспечивающая повышенную выработку электрической мощности; ВЭУ с двумя соосными ветроколесами с

радиальными лопастями с повышенным крутящим моментом и с защитным устройством от попадания птиц в ветроприемное устройство; автономная ВЭС с лопастями лоткового типа, вырабатывающая повышенную мощность за счет большей активной поверхности лопастей.

Ключевые слова: ветровая энергетика, ветродвигатели, ветроколесо, ветроэнергоустановки, ветроэлектростанции, конструктивные схемы, повышение мощности, защита от шума, защитное устройство от попадания птиц

OVERVIEW OF ORIGINAL CONFIGURATIONS OF WIND TURBINES FOR SMALL WIND POWER

Andrianova Lyudmila Prokopyevna

Khazieva Regina Tagirovna

Vasiliev Pyotr Igorevich

Golubev Denis Mikhailovich

Abstract: The article provides an overview of the original configurations of wind turbines (VD) for the construction of reliable, energy-efficient and environmentally friendly autonomous wind turbines (wind turbines) and low-power power plants (wind farms). The design schemes, component composition and description of the principle of operation for all configurations of VD, wind power plants and wind power plants presented in the review are given: VD with partial or complete overlap of the wind flow at storm speeds; VD with an improved design of wind blades for operation with reduced noise characteristics; A wind turbine with a rotation speed limitation system for operation at elevated speeds; a wind turbine with a horizontal axis of rotation with wind wheels with flat-convex blades, providing increased electric power generation; a wind turbine with two coaxial wind wheels with radial blades with increased torque and with a protective device against birds

entering the wind receiving device; an autonomous wind turbine with tray-type blades, generating increased power due to a larger active surface of the blades.

Key words: wind power, wind turbine, wind wheel, wind power plants, wind power plants, structural schemes, power increase, noise protection, bird protection device

В настоящее время недостаточно исследованы технологии эффективного энергоснабжения децентрализованных потребителей с помощью автономных ветроэнергоустановок (ВЭУ) малой мощности. ВЭУ представляет собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в другие виды энергии: механическую, тепловую, электрическую и др.

Объединение двух или более ВЭУ образует ветроэлектростанцию (ВЭС), предназначенную для преобразования энергии ветра в электрическую энергию и передачу ее потребителю.

Основным компонентом ВЭУ и ВЭС является ветродвигатель (ВД), служащий для преобразования ветровой энергии в механическую энергию вращения ветроколеса. Однако разработке, созданию и исследованиям ветродвигателей уделяется недостаточное внимание. Основными факторами, сдерживающими применение существующих конструкций ветродвигателя при создании ВЭУ или ВЭС малой мощности, являются недостаточная надежность конструкции и повышенный уровень шума при их работе.

В статье представлены к рассмотрению оригинальные технические решения для малой ветровой энергетики, направленные на повышение надежности конструкций ВД и улучшение энергетических и экологических характеристик ВЭУ и ВЭС [1-6].

Надежность конструкции ВД должна обеспечиваться с учетом экологических требований относительно уровня шума при постоянном числе оборотов ВД вне зависимости от скорости ветра при заданной мощности и оптимальных габаритных характеристиках.

При высоких скоростях ветра, превышающих допустимые, в существующих ветродвигателях, как правило, производят ограничение числа оборотов ветродвигателя при максимальных порывах.

Рассмотрим ряд оригинальных конструкций ветродвигателей с вертикальным валом, обеспечивающих надежность и устойчивость работы при максимальных скоростях ветра и пониженном уровне шума при работе.

На **рис. 1** представлена оригинальная конструкция ВД с вертикальным валом вращения, способная обеспечить работу ВЭУ как при нормальных скоростях ветра, в диапазоне 5-15 м/с, так и при превышении допустимых скоростей ветра. Снижение скорости ветроколеса ветродвигателя обеспечивается путем частичного или полного перекрытия ветрового потока.

Рис. 1. Ветродвигатель с частичным или полным перекрытием ветрового потока: а) при нормальном ветре; б) при штормовом ветре;

1 – вертикальный вал; 2,3 – верхняя и нижняя круговая опора;

4 – экран; 5 – лопасти; 6 – створка; 7 – тяги;

8 - ограничители поворота; 10 - створка; 11 – шарниры;

12 – упругий элемент

Ветродвигатель состоит из вертикального вала 1 и корпуса образованного верхней 2 и нижней 3 круговыми опорами жестко связанными прямоугольным

экраном 4. На вертикальном валу 1, симметрично его оси, закреплены ветровые лопасти 5 (створки 6 и 7). Направляющий сопловый аппарат (створки 6 и 10, шарниры 11, тяги 7) заставляет вращаться ветроколесо. Створка 6 расположена под углом 30-400 к горизонтальной оси ветроколеса. Створка 10 параллельна горизонтальной оси диаметра ветроколеса. Ограничители поворота (упоры) 8 на каждой створке 6 и 10 служат для ограничения поворота при увеличении скорости ветра. Вал 1 проходит через основание и с помощью редуктора передает вращение от ветроколеса к электрогенератору.

Ветродвигатель работает следующим образом. Ветровой поток, воздействуя на направляющий сопловый аппарат, вращает лопасти. При движении воздушного потока V хвостовик ориентируется по ветру, поворачивая ветродвигатель навстречу потоку. При увеличении скорости ветра створка 6 поворачивает шарнирными тягами 7 створку 10 на круговых опорах 2 и 3, уменьшая проходное сечение (рис. 1, а).

Постепенно, с увеличением скорости ветра до критических значений, осуществляется перекрытие ветрового потока створками 6, которая, преодолевая усилие упругого элемента 12, поворачивается на шарнирных тягах 7 и поворачивает створку 10, уменьшая проходное сечение. Скорость ветроколеса снижается, предотвращая его разрушение, чем и обеспечивается повышенная надежность ветродвигателя.

На рис. 2 приведена оригинальная конструкция ветродвигателя с вертикальным валом 1, в которой ветроколесо выполнено в форме цилиндра со сквозными прорезями.

Через сквозные боковые прорези проходят цельные радиальные ветровые лопасти 4 с вилочными вырезами 5, обеспечивая в пределах радиуса цилиндра 2 взаимное перемещение радиальных ветровых лопастей 4 при движении по круговому рельсу 8, установленному на площадке 9, эксцентрично оси вала 1. Лопасти 4 снабжены опорными колесами 7, а на концах наклонными пластинами 6, направляющими ветровой поток под углом 30...45°.

Под опорой 11 проходит нижний конец вала с опорным подшипником 13, а к валу 1 прикреплено конусное зубчатое колесо 14 в зацеплении с зубчатым колесом 15 редуктора электрогенератора 12. Направляющий аппарат ориентирует ветродвигатель по направлению ветра хвостовиками 17, перекрывающими диаметр ветроколеса, через раму 16, установленную на площадке 9 (на катках 10 и опоре 11) параллельно большой оси вала 1.

Рис. 2. Ветродвигатель с усовершенствованной конструкцией ветровых лопастей: 1- вертикальный вал; 2 – цилиндр; 3 – сквозные прорезы; 4 – радиальные лопасти; 5 – вилочные вырезы; 6 – наклонная пластина; 7 – опорные колеса; 8 – круговой рельс; 9 – площадка; 10 – катки; 11 - опора; 12 – электрический генератор; 13 – опорный подшипник; 14 – конусное колесо; 15 - колесо редуктора; 16 – рама; 17 – хвостовики

При набегании ветрового потока, направляющий аппарат ориентирует ветроколесо, поворачивая его на площадке 10 по круговой рельсе 9, и

устанавливая встречно ветру. Ветровой поток обтекает ветроколесо по цилиндру 2 и наклонной пластине 6, образующих карман на конце лопасти 4. На радиальной ветровой лопасти 4 возникает давление, пропорциональное площади лопасти 4, наклонной пластины 6, четверти цилиндра 2 и скорости ветра V . Это давление создает крутящий момент на валу 1, который вращается по часовой стрелке (см. рис. 2). Ветровая лопасть 4, полностью выдвинутая из цилиндра 2, проходит на правую сторону на опорном колесе 8, обкатывается по круговому рельсу 9 и через сквозные прорези 3 вталкивается внутрь цилиндра 2, одновременно, выталкивая радиально противоположную ветровую лопасть 4. В этом положении (по направлению ветра) остается наклонная пластина 6, которая не создает значительного сопротивления. Вал 1 ветродвигателя, вращаясь, с помощью зубчатой системы передачи, приводит в работу генератор 12, который вырабатывает электрическую энергию.

В представленной конструкции (рис. 2) ветродвигателя за счет оптимизации обтекания лопастей потоком воздуха, уменьшается сопротивление ветрового потока, повышается надежность ВЭУ.

Для работы ВЭУ в условиях повышенных скоростей ветра, свыше 25 м/с, предложен ветродвигатель с системой ограничения скорости вращения ветроколеса, схема устройства которого показана на рис. 3.

Рис. 3. Ветродвигатель с системой ограничения скорости вращения

**ветроколеса: 1 - вал; 2 – разводные половины лопасти; 3 – пружины;
4 – шарниры; 5 – упоры; 6 – лопасти; 7 – тормозные башмаки;
8,9 – верхняя и нижняя опорные плиты; 10 – стенка; 11 – корпус;
12 – основание; 13 – электрогенератор; 14 – редуктор; 15 – катки;
16 – фрикционный диск; 17 – стабилизатор**

Лопасты на валу 1 ветроколеса имеют V- образный вид и состоят из двух разводных половин 2, соединенных тарированными пружинами 3 и шарнирами 4. Упоры 5 ограничивают поворот лопастей 6 от действия стяжной пружины 3. Для защиты ветроколеса от разрушения створки 6 ветровых лопастей оснащены системой ограничения скорости вращения ветроколеса, включающей тормозные башмаки 7 и фрикционный диск 16. Корпус 11 состоит из верхней 8 и нижней 9 опорных плит и основания 12, через которое проходит вал 1 ветроколеса, передающий вращение на генератор энергии 13 через редуктор 14. Корпус ветродвигателя опирается на основание 12 через катки 15.

При набегании ветрового потока корпус ветродвигателя разворачивается на катках 15 хвостовиком – стабилизатором 17. Стенка 10 закрывает одну половину ветроколеса от ветрового потока V , а лопасти второй половины ветроколеса остаются открыты потоку, и приводят во вращение генератор энергии через редуктор 14. При увеличении скорости вращения ветроколеса при штормовом ветре центробежные силы, преодолевая натяжение тарированных пружин 3, разводят половинки лопастей 2. Скорость вращения ограничивается тормозными башмаками 7, прижимаемыми к фрикционному диску 16 на корпусе ВД, предотвращая разрушение.

Применение ВД с вертикальным валом с системой ограничения скорости вращения ветроколеса позволит, за счет оригинальной конструкции вала и ветроколеса, увеличить устойчивость работы ВЭУ в различных ветровых условиях, обеспечить надежность его работы при запредельных нагрузках ветра и понизить уровень шума при работе.

Ветроэнергоустановки (ВЭУ) с вертикальной осью вращения обладают меньшим КПД ($\eta_{\text{ВЭУ}} = 0,45 \dots 0,48$) при больших размерах установки в отличие от ВЭУ с горизонтальной осью вращения ($\eta_{\text{ВЭУ}} = 0,60 \dots 0,62$).

Рассмотрим оригинальную конструкцию ВЭУ с горизонтальной осью вращения с ветроколесом с лопастями плоско-выпуклой формы, радиально закрепленными на горизонтальном валу ветродвигателя, как показано на **рис. 4**.

В представленной конструкции ВЭУ возможна выработка большей электрической мощности ветродвигателя за счет разности скоростного обтекания воздухом плоской и выпуклой поверхности лопасти.

Ветроколесо состоит из внешнего и внутреннего колец 1 и 2. Лопасти 3 радиально крепятся на кольцо 2, связанном с горизонтальным валом 6, причем внутреннее кольцо со стороны воздушного потока снабжено конусом 4 и спицами 5. Внешнее и внутреннее кольца связаны между собой радиальными спицами 8 посредством подшипникового узла 7, через который проходит вал 6. Ветроколесо установлено на площадке 9.

Рис. 4. Ветроколесо: а – вид спереди; б – продольное сечение
1 – внешнее кольцо; 2 – внутреннее кольцо; 3 – лопасти ветроколеса;
4 – конус; 5 – спицы кольца; 6 – вал; 7 – подшипникового узла;
8 – радиальные спицы; 9 – площадка

Ветроколесо работает следующим образом. При набегании потока воздуха v конус 4 рассекает и направляет его между внешним и внутренним кольцами 1 и 2, где он уплотняется ветровым потоком, скорость его прохождения увеличивается. Поток воздуха v , воздействуя на лопасти 3, приводит во вращение ветроколесо, закрепленное радиальными спицами и оказывающее сопротивление ветровому потоку.

На лопасти 3 действуют, одновременно, динамическое давление потока воздуха на плоскую поверхность лопастей 3, развернутых к потоку под углом α , как показано на **рис. 5**, а так же подъемная сила крыла, которому соответствует поперечное сечение лопастей 3, направленная в сторону выпуклой поверхности лопасти (за счет разности скоростного обтекания воздухом плоской и выпуклой поверхности лопасти), тем самым, вращая ветроколесо в направлении, указанном стрелкой на **рис. 4, а**.

Рис. 5. Ветроколесо в сечении А-А

При определении мощности ВЭУ учитывается среднегодовая скорость ветра. Например, для Республики Башкортостан среднегодовая скорость ветра составляет $v=4$ м/с, при этом минимальная скорость включения ВЭУ составляет 2,5 м/с, а максимальная рабочая скорость 12 м/с.

Мощность ВЭУ определяется мощностью ветрового потока, зависящего от его плотности, скорости и площади поперечного сечения ветроколеса.

В качестве примера приведем расчет вырабатываемой мощности ВЭУ, приняв внешний диаметр ветроколеса, равный 5 м.

Площадь поперечного сечения ветроколеса

$$F = \pi \cdot (D - d) / 4 = 3,14 \cdot (5^2 - 1,3^2) / 4 = 18,2 \text{ м}^2,$$

где D – внешний диаметр ветроколеса, $D=5$ м;

d – внутренний диаметр ветроколеса, равный $d=1,3$ м (расстояние между внутренними концами двух противоположных лопаток).

Мощность ветрового потока можно подсчитать с учетом единичной массы m_0 потока, проходящего через поперечное сечение в одну секунду, и движущегося со скоростью v :

$$N = m_0 \cdot v^2 / 2,$$

где m_0 – единичная масса, кг/с;

v – скорость ветрового потока, м/с.

Единичная масса, выраженная через плотность ρ и расход потока v :

$$m_0 = \rho \cdot F \cdot v,$$

где ρ – плотность воздуха, $\rho = 1,3$ кг/м³;

m_0 – единичная масса, кг/с;

v – скорость ветрового потока, м/с;

Тогда мощность ветрового потока определяется по формуле

$$N = \rho \cdot F \cdot v^3 / 2.$$

Расчетные мощности при разных скоростях:

Минимальная мощность	
$v_{\min}=2,5$ м/с	$N_{\min}= 1,3 \cdot 18,2 \cdot 2,5^3 / 2=184,84$ Вт
Средняя мощность	
$v_{\text{ср}}=4$ м/с	$N_{\text{ср}}= 1,3 \cdot 18,2 \cdot 4^3 / 2=757,12$ Вт
Максимальная мощность	
$v_{\max}=12$ м/с	$N_{\max}= 1,3 \cdot 18,2 \cdot 12^3 / 2=20442,24$ Вт

Таким образом, повышение энергетических параметров ВЭУ достигается использованием ветроколеса с горизонтальной осью вращения на валу ветродвигателя, с лопастями плоско-выпуклой формы, позволяющим

эффективнее использовать ветровой поток за счет увеличенной активной поверхности.

Оригинальная конструкция ВЭУ с двумя соосными ветроколесами приведена на **рис. 6**.

Ветроэнергостановка состоит из башни 1 с поворотным колесом 2, на котором установлена гондола 3, направляемая по ветру стабилизатором 4. На горизонтальном валу 5 ветродвигателя установлено ветроколесо с радиальными лопастями 6, выполненными в виде плоско-выпуклого профиля, за которыми установлен трубчатый вал 7 с ветровыми лопастями 8. Ветровые лопасти 8 выполнены в виде плоско-выпуклого профиля, но обратно профилю ветровых лопастей горизонтального вала 5.

Рис. 6. Ветроэнергостановка с двумя соосными ветроколесами с радиальными лопастями:

**1 – башня, 2 – поворотное колесо, 3 – гондола, 4 – стабилизатор,
5 – горизонтальный вал ветродвигателя, 6 – радиальные лопасти,
7 – трубчатый вал, 8 – ветровые лопасти, 9, 10 – зубчатое колесо,
11 – двухступенчатый редуктор, 12 – двухступенчатый повышающий
редуктор, 13 – генератор электрической энергии**

Трубчатый вал 7 снабжен ведущим зубчатым колесом 9, которое находится в зацеплении с зубчатым колесом 10, что позволяет изменять

направление вращения. Далее горизонтальный вал 5 снабжается двухступенчатым повышающим редуктором 12, вал которого связан с валом генератора 13 электрической энергии. Коэффициент редукции двухступенчатого редуктора составляет 1:1.

При ветровом напоре воздух набегает на ветровые лопасти 6 и за счет угла атаки и выпуклых сторон профиля, где возникает подъемная сила в сторону вращения ветровой лопасти 6, горизонтальный 5 приводится во вращение. Воздух под напором ветра проходит между ветровыми лопастями 6 и по углу атаки, и выпуклой стороной отклоняет против направления вращения лопастей 6, встречно ветровым лопастям 8, как в направляющем аппарате, обтекает ветровые лопасти 8 и, тоже, за счет угла атаки и выпуклой стороны на них создает вращательный момент, который вращает трубчатый вал 7 противоположно горизонтальному валу 5. Вал 7 вращает свое ведущее зубчатое колесо 9, которое приводит в действие паразитное зубчатое колесо 10, а последнее, изменяя направление вращения, приводит в действие двухступенчатый редуктор 11, который с коэффициентом редукции 1:1 передает этот вращательный момент на горизонтальный вал 5 в ту же сторону вращения. Вал 5 через двухступенчатый редуктор 12 приводит в действие генератор 13, который вырабатывает электрическую энергию.

Таким образом, сумма крутящих моментов двух валов 5 и 7 с ветровыми лопастями 6 и 8 позволяет увеличить мощность ВЭУ.

Применение двух встречных ветровых колес является закономерным фактом развития техники. По такому принципу работают двухвинтовые вертолеты, тяговые винты самолетов, турбины и т.п.

Если рассматривать систему, где последовательно (друг за другом) установлены два ветровых колеса, работающих на один вал, с точки зрения коэффициента полезного действия составляющего 35% для ветроколес, то за первым колесом остается 65% кинетической энергии ветра. Однако, с точки зрения аэродинамики ветровые лопасти имеют площади сечения в ветровом потоке, сумма которых составляет коэффициент сужения канала, а согласно

теории неразрывности потока, происходит увеличение скорости течения, кроме того согласно угла атаки плоско-выпуклого профиля ветровых лопастей и их выгнутых частей, на ветровом колесе происходит частичное закручивание ветрового потока в обратную сторону вращения, поэтому за первым ветровым колесом, как за направляющим аппаратом, целесообразно поставить второе встречное, КПД которого будет выше первого.

Соотношение между ометаемыми поверхностями, создаваемыми первыми 6 и вторыми 8 ветровыми лопастями имеет вид

$$S_1 = 1,3 \cdot S_2 ,$$

где S_1 – ометаемая поверхность первых ветровых лопастей, м^2 ;

S_2 – ометаемая поверхность вторых ветровых лопастей, м^2 .

Из данного соотношения получается зависимость между диаметрами первого 6 и второго 8 ветроколес

$$\pi d^2/4 = 1,3 \pi D^2/4,$$

где d – диаметр первых ветровых лопастей, м;

D – диаметр вторых ветровых лопастей, м.

Таким образом диаметр второго ветроколеса равен $D = 1,162d$.

Предложенное техническое решение по усовершенствованию конструкции ВЭУ малой мощности с горизонтальной осью вращения с двумя соосными ветроколесами направлено на повышение энергоэффективности за счет увеличения крутящего момента.

Для предотвращения попадания птиц на лопасти ветроколес и их гибели в ВЭУ предусмотрено защитное устройство, схема устройства которого приведена на **рис. 7**.

Защитное устройство ветроколеса (**рис. 7, а**) включает в себя раму (стойки, кольцо) 1, выполненную по форме ветроколеса, которая снабжена преимущественно горизонтальными спицами 2, на которых закреплены плотняные язычки 3 со светоотражающей поверхностью с зазором между собой и нижней спицей 2 и между собой. Все зазоры выполняются не более 11 см, то есть минимального размера местных птиц.

Рис. 7. Защитное устройство для ветроколеса:

а – с осью вращения по ветру; б – с радиальным расположением спиц между двумя опорными кольцами: 1 – рама, 2 – спицы, 3 – язычки

Рекомендуемое расстояние до ветроколеса при установке защитного устройства должно быть не меньше длины язычков 3. Круглая рама 1 может быть закреплена непосредственно на ветроколесе, на котором спицы 2 расположены радиально между двумя опорными кольцами (рис. 7, б).

Защитное устройство ветроколеса работает следующим образом. Под динамическим давлением ветра полотняные язычки со светоотражающей поверхностью отклоняются, в любую погоду колеблются и отражают световые лучи в любом направлении, что создает впечатление сплошной, движущейся и издающей звуки световой ограды.

Описанный принцип создания защитного устройства от попадания в них птиц может применяться для ветроколес различных ветродвигателей и предложенные для его реализации оригинальные конструкции позволят обеспечить устойчивость и надежность работы ВЭУ.

Рассмотрим принципы построения автономной ВЭС. В качестве примера на рис. 8 показан общий вид автономной ВЭС с лопастями лоткового типа, способной вырабатывать повышенную мощность за счет большей активной поверхности лопастей, оказывающей сопротивлению ветровому потоку. Ветроэлектростанция состоит из основания 6, на котором через поворотное устройство 5 установлен поворотный корпус из плиты основания 8. На плите

основания 8 установлены два кронштейна 9 со втулками 11, в которых вращается вал 12 ветроколеса с лотковыми лопастями, закрепленными на радиальных спицах 4. Вал 12 соединен 14 трансмиссией 10 с генератором электрической энергии 7, закрепленный на плите основания 8. Поворотный корпус ветродвигателя снабжен двумя стабилизаторами 1 направления по ветру V. Лопasti снабжены вертикальными ребрами жесткости 3.

Рис. 8. Ветроэлектростанция с лопастями лоткового типа:

**1 – хвостовик, 2 – лотки, 3 – ребра жесткости, 4 – радиальные спицы,
5 – поворотное устройство, 6 – основание, 7 – генератор электрической
энергии, 8 – плита основания, 9 – кронштейн, 10 – трансмиссия,
11 – втулки, 12 – вал ветроколеса, 13 – экран**

ВЭС работает следующим образом. Хвостовик 1 ориентирует поворотный корпус ветродвигателя по ветру, разворачивая его относительно основания 6. Поток воздуха V воздействуя на лотки 2, расположенные выше горизонтальной оси вала 12, одновременно обтекая экран 13, защищающий от него лопасти, расположенные ниже оси вала, приводит последний во вращение

и через трансмиссию (ременную передачу и шкивы) вращает вал генератора электрической энергии 7.

Ветроэлектростанция с лопастями лоткового типа обладает большей мощностью по сравнению со станцией аналогичного типа, но с двумя чашечными ветровыми колесами, а также сравнительно простой конструкцией относительно ВЭС с вертикальной осью вращения аналогичного ветроколеса.

Выводы:

1. Представленные технологии создания оригинальных конструкций ветродвигателей направлены на повышение энергетической эффективности автономных надежных и устойчивых в работе ВЭУ и ВЭС, а также на обеспечение экологических характеристик, включая защиту от шума и попадания птиц в ветроприемные устройства.

2. Полная количественная оценка показателей энергетических и экологических характеристик ВЭУ и ВЭС будет дана после проведения соответствующих экспериментов.

Список литературы

1. Андрианова Л.П. Ветроэлектродвигатели /Л.П. Андрианова, И.В. Осипова / Научный журнал «Сельский механизатор» вып. 9. – М.: 2014. – С. 28-29.

2. Автономная ветроэлектрическая установка с защитным устройством ветроколеса от попадания птиц / Л.П. Андрианова, С.А. Кононов // Межд. научно-практическая конференция «SCIENE INNOVATIONS», 30 мая 2019 г. – Петрозаводск Российская Федерация (с публикацией материалов). – Петрозаводск : МЦНП «Новая наука», 2019. – 156 с. – С. 43-48.

3. Энергообеспечение децентрализованных потребителей на основе крышных ветродвигателей и солнечных электростанций / Л.П. Андрианова, В.Ю. Кабашов // Межд. технико-экономический журнал. THE International Technical - Economic Journal. Под ред. д-ра техн. наук, член-корреспондента РАН О.Н. Дидманидзе. – Москва: ООО Спектр. – №1, 2019. – С. 48-54.

4. Перспективные технологии ветровых энергоустановок малой мощности для децентрализованных потребителей / Л.П. Андрианова, Р.Т. Хазиева // Лучшая научная статья 2019 : Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса (24 ноября 2019 г.). – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2019. - С. 154-163.

5. Ветроэнергетическая установка малой мощности с направляющим аппаратом / Л.П. Андрианова, Р.Т. Хазиева // Сборник материалов XI Международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование», посвященной 45-летию образования Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева. Алматы: НАО «АУЭС», 16-18 октября 2020. С. 95-97.

6. Ветродвижитель для построения автономных крышных электростанций в изолированных зонах / Л.П. Андрианова, [и др.] // Интеллектуальный и кадровый потенциал современной науки : сборник статей международной научно-практической конференции (11 ноября 2020 г.). - Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. С. 80-86.

© Л.П. Андрианова, Р.Т. Хазиева, П.И. Васильев, Д.М. Голубев, 2021