

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/UJEG4973>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***А. Б. Кайдар¹, С. С. Исенов¹, Р. М. Искаков¹,
Б. К. Шапкенов², С. К. Шерьязов³**

¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан; г. Астана,

²Торайгыров университет, Республика Казахстан; г. Павлодар,

³Южно-Уральский государственный Аграрный университет,
Российская Федерация, г. Челябинск

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В статье выполнен анализ ветроэнергетических установок. Рассмотрены ветроэнергетические установки с горизонтальной и вертикальной осью вращения, а также ветроустановки, использующие энергию рабочего органа, качающегося под воздействием ветрового потока.

В статье рассмотрены 10 типов ветрогенераторов, описаны конструкции, приведены технические характеристики, такие как коэффициент использования энергии ветра и быстроходность, проанализированы свойства ветрогенераторов, особенности, достоинства и недостатки. Приведены принципы работы, область применения. Отмечено, что ветрогенераторы с горизонтальным ротором обладают большей эффективностью по сравнению с ветрогенераторами с вертикальной осью вращения и качающимися ветрогенераторами ввиду более высоким коэффициентом использования энергии ветра и быстроходностью.

Приведена классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком, которая отличается от других известных тем, что введен класс качающихся ветрогенераторов и подкласс генераторов с горизонтальной осью вращения с двумя встречно вращающимися колесами ветрогенератора, которые прикреплены к статору и ротору электрогенератора, обеспечивая суммирование угловых скоростей ротора и статора. Достоинством и новизной ветрогенератора со встречным вращением ветроколес является возможность удвоения скорости вращения ротора

относительно статора. Новизна ветроустановки подтверждается патентом авторов на изобретение. Удвоение скоростей позволяет повысить эффективность генерации. Увеличивается мощность генерации за счет увеличения активных плоскостей, приводящих во вращение элементы генератора (ротора и статора) двумя ветроколесами. Коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) двух ветроколес для всей ветроустановки суммируется, а быстроходность увеличивается вдвое за счет противовращения.

Ключевые слова: Ветрогенераторы, ветроколеса, ветротурбины, быстроходность, эффективность, лопасть, ось вращения, качающиеся генераторы

Введение

Применение энергии ветра в настоящее время становится актуальным и для Казахстана. Потребление электроэнергии из года в год растет, а основные энергетические мощности на угольных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и государственных районных электростанциях (ГРЭС) приближаются к завершению срока эксплуатации. Несмотря на то, что страна до сих пор не испытывает дефицита электроэнергии, необходимо продолжать развивать электроэнергетику, в том числе и ветроэнергетику, которая по сравнению с солнечной имеет существенно больший потенциал генерации. Особенно эффективно применение ветрогенераторов малой мощности для электроснабжения отдаленных районов с децентрализованным энергоснабжением.

Востребованность малых ветроустановок создает предпосылки в исследовании и разработке энергоэффективных систем генерации электроэнергии.

Современные ветроэнергетические установки обычно представляют собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, которые преобразуют энергию ветра в механическую энергию вращающегося ветроколеса, с последующим преобразованием в электрическую энергию или какую-либо другую механическую энергию.

Большое многообразие ветрогенераторов обуславливает необходимость их классификации. Принципиально по способу взаимодействия с ветровым потоком их можно разделить на вращающиеся и качающиеся (рисунок 1). Вращающиеся ветрогенераторы имеют ось вращения и лопасти, а качающиеся площади взаимодействия (лопасти) с ветровым потоком и механизм преобразования энергии возвратно поступательного движения в электрическую.

По расположению оси вращения ветрогенераторы подразделяют на вертикальные и горизонтальные. На рисунке 1 приведена классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком.

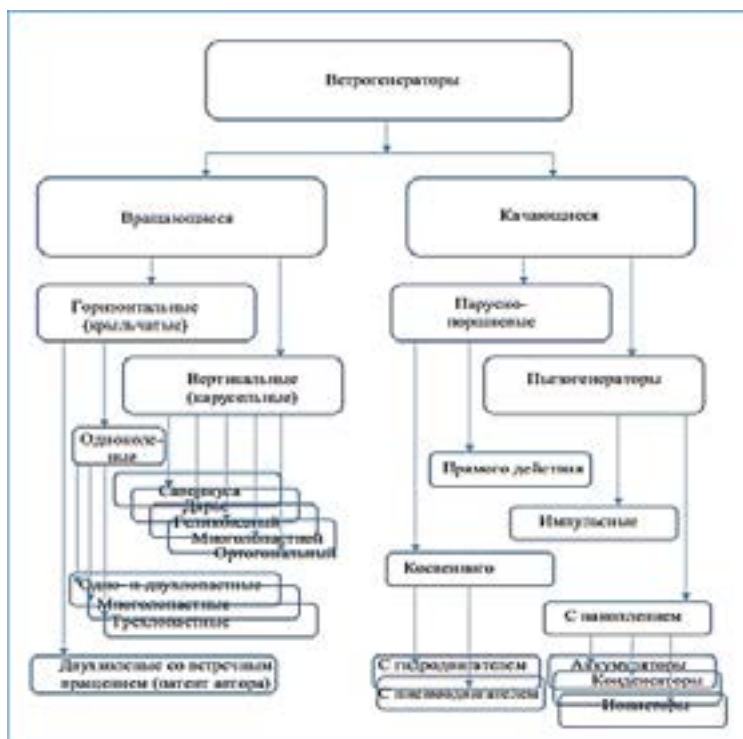


Рисунок 1 – Классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком

Предложенная классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с воздушным потоком (рисунок 1) облегчает проектировщикам и пользователям выбрать ветрогенератор с заданными свойствами для конкретных условий применения.

У вертикальных (карусельных или ортогональных) ветрогенераторов ось вращения ветроколес (турбин) расположена вертикально по отношению к земле. У горизонтальных ось вращения располагается параллельно земле.

Обычно из-за большей парусности момент трогания у ветрогенераторов вертикального типа ниже и соответствует скорости ветра 2–3 м/с [1]. У горизонтальных ветрогенераторов момент трогания несколько выше и

вращение начинается при скорости ветра 2,5–3 м/с [2]. Горизонтальные генераторы имеют большую (на 30 %) мощность преобразования энергии ветра [3].

Вертикальные генераторы ввиду их низкой производительности для промышленной генерации не используются. В большинстве случаев вертикальные генераторы используют ввиду их простоты для бытовых нужд мелких потребителей. Они просты в обслуживании, так как генератор находится в нижней части ветроустановки.

1. Генераторы Савониуса

Генераторы с ротором Савониуса состоят из двух или нескольких полуцилиндров, или полусфер (рисунок 2).

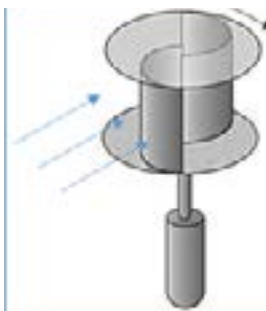


Рисунок 2 – Генераторы Савониуса

Рисунок 3 – Генератор Дарье двухлопастной

Изменение порывов ветра мало сказывается на скорости ветра, так как конструкция достаточно инерционна. При работе генератор использует не всю мощь ветрового потока, а только 30 %. Устройство лопастей в виде двух полуцилиндров позволяет работать лишь на четверть оборота. Остальное время лопасти находятся в области затенения ветрового потока или расположены выпуклой частью лопасти встречно потоку ветра. Вогнутая (активная) часть лопасти крутит ветроколесо, выгнутая – тормозит ветроколесо. Ввиду того, что выгнутая часть обтекается воздухом, воздействие ветрового потока на активную часть всегда выше. За счет этой разницы происходит кручение ветроколеса.

В настоящее время генераторы такого типа не используются из-за низкого от 4 до 13 % коэффициента эффективности использования ветра

Ср и малой быстроходности $Z = 0,4-1,5$, из-за невысокой эффективности, материалоемкости и тихоходности [4, 5].

2. Генераторы Дарье

Генераторы Дарье имеют 2–3 лопасти в виде тонкой полосы (рисунок 3), чаще всего изогнутой. Генератор легко монтируется, прост в эксплуатации, за счет легкости ветроколеса – малоинерционен.

При увеличении количества лопастей увеличивается величина шума. Ветровые установки с ротором Дарье достаточно скоростные, имеют довольно высокую эффективность использования ветра, но нуждаются в принудительном старте. Быстроходность находится в пределах $Z = 5-7$, КИЭВ Ср = 25–35 %. Недостатком, кроме принудительного старта, является низкая мощность, обусловленная малой парусностью, а также тем, что участки лопастей, находящихся вблизи оси вращения малоэффективны ввиду малой величины плеча воздействия. Ввиду малой жесткости конструкции наблюдается сильная вибрация и, следовательно, высокое значение шума. Применяются в небольших количествах в промышленности (при больших размерах) и для бытовых нужд – при небольших габаритах.

3. Геликоидный генератор

Ветрогенератор с геликоидным ротором (рисунок 4) является разновидностью ротора Дарье, обеспечивает равномерное вращение. В принципе по конструкции является ортогональным ветрогенератором с вертикальной осью вращения.

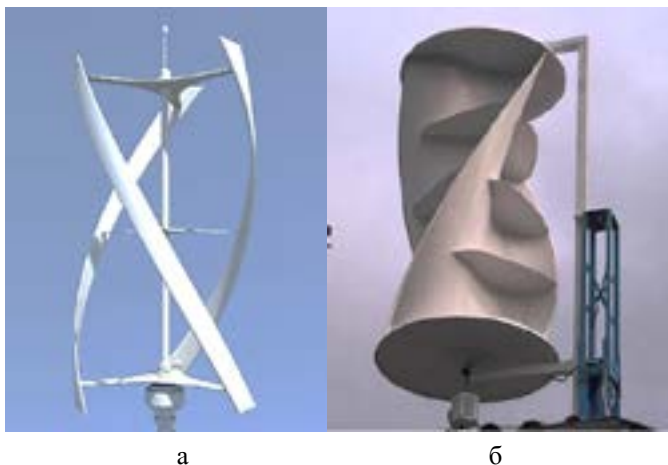


Рисунок 4 Геликоидный (спиральный) генератор традиционной конструкции (а) и усиленный ребрами жесткости (б)

Отличием является то, что лопасти ветрогенератора скручены относительно оси вращения в спиралевидную форму, что обеспечивает равномерную загрузку (без биений) электрогенератора и всех конструктивных элементов, в том числе подшипников. Отсутствие биений способствует снижению шума при вращении ветрогенератора и повышает срок эксплуатации.

Технические характеристики имеет практически такие же, как и генератор Дарье: быстроходность $Z = 5-7$, КИЭВ $C_p = 25-35 \%$. Сложен при монтаже и в изготовлении, что обуславливает высокую цену.

5. Ветроустановки с вертикальной осью вращения и прямыми лопастями



Рисунок 5 Ветрогенератор с вертикальным (ортогональным) ротором и прямыми лопастями

Ветроустановки с ортогональной (перпендикулярной земле) осью вращения ротора с прямыми лопастями состоят из вертикальной оси и лопастей (рисунок 5). За счет большого плеча воздействия генерация энергии начинается для небольших конструкций при скорости ветра $0,7 \text{ м/с}$, но уже для мощностей 2 кВт стартовая скорость – 2 м/с . Номинальной мощности достигает при скоростях ветра 11 м/с [6]. Достоинства ортогональных ветрогенераторов с прямыми лопастями заключаются в том, что у них, как и у всех генераторов с вертикальной осью вращения нет необходимости улавливать направление ветрового потока. Использование генератора возможно при слабом ветре, но генерация при слабом ветре незначительна. В отличие от генераторов с горизонтальной осью вращения имеется возможность устанавливать на короткой мачте, что упрощает обслуживание. За счет низкой угловой скорости вращения в снижен шум и может находиться в пределах 30 дБ в зависимости от исполнения. Быстроходность и КИЭВ ниже чем у генераторов Дарье ($Z = 5-7$, КИЭВ $C_p = 25-35 \%$), но выше чем у генераторов Савониуса ($C_p 13 \%$, $Z = 0,4-1,5$) [1, 2].

Ввиду низкой парусности для получения малой или средней мощности необходимо увеличивать размеры лопастей, что делает генератор громоздким, увеличивает территорию отчуждения или требует установки высокой мачты, а также усложняет монтаж.

6. Многолопастной ветрогенератор с внутренней вращающейся турбиной (рисунок 6, а, изображено красным цветом) и с внешними, расположенными по окружности, неподвижными направляющими (выделено синим цветом).



Рисунок 6 Многолопастной ветрогенератор:

- а – чертеж многолопастного ветрогенератора направляющими ветрового потока;
- б – фотография ветросолнечной установки 10 кВт (г. Астана, район дворца школьников) с многолопастным ветрогенератором 5 кВт;
- в – многолопастной ветрогенератор без направляющих ветрового потока

На рисунке 6, б приведена фотография ветросолнечной установки 10 кВт (г. Астана, район дворца школьников) с многолопастным ветрогенератором 5 кВт, установленной NACKAZATOMPRO–MJSC'SLLP «ECOENERGOMASH». При обдуве потоком воздуха по горизонтали с любой стороны направляющие ориентируют поток воздуха на активную часть лопастей, что вызывает вращение ротора ветроустановки. Ветроустановка имеет высокую чувствительность к ветру, сниженный момент трогания, развивает сравнительно большую мощность ввиду максимального использования энергии ветра. На рисунке 6, в – многолопастной ветрогенератор без направляющих ветрового потока. Технические характеристики для генераторов без направляющих ветрового потока составляют быстроходность $Z = 0,4-1,5$, а КИЭВ $C_p = 10-28\%$. Для генератора, приведенного на рисунке

6, а, с направляющими ветра эффективность несколько выше: $Z = 0,44-1,7$ и $C_p = 11-30\%$ [1, 2].

7 Горизонтальные ветрогенераторы

Доминирующим преимуществом однолопастного ветрогенератора с горизонтальной осью вращения является высокая скорость вращения (рисунок 7).

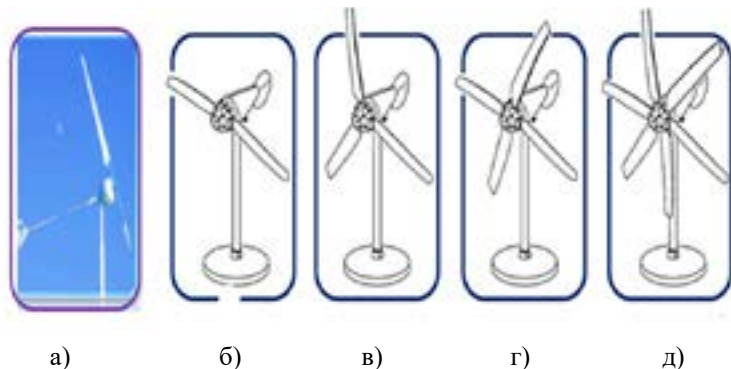


Рисунок 7 – Ветрогенераторы с горизонтальным ротором: а – однолопастной с противовесом, б – двухлопастной, в – трехлопастной, г – четырехлопастной, д – шестилопастной

Для устранения биения на однолопастных ветрогенераторах установлен груз–противовес. Противовес, не имея парусности, практически не оказывает сопротивления воздуху при вращении, что дает использовать их для стандартных высоко оборотистых генераторов, включая асинхронные и синхронные. Применение стандартных с 1–3 полюсами асинхронных или синхронных генераторов позволяет уменьшить массогабаритные показатели. Применение специализированных тихоходных генераторов с большим числом пар полюсов увеличивает массогабаритные показатели и стоимость ветрогенератора. На рисунке 7, б–д показаны двух, трех, 4–х и 6–ти лопастные генераторы с горизонтальной осью вращения.

Обороты ветрогенератора с горизонтальным ротором при одинаковой скорости ветра будут разные и зависят от количества лопастей и их длины. С увеличением числа лопастей и их длины быстроходность Z падает.

При прохождении воздуха через лопасти возникают турбулентные завихрения, тормозящие вращение ветроколеса. Поэтому с увеличением количества лопастей снижается быстроходность [1]: причем, для 1–лопастного ветроколеса быстроходность $Z = 9,0$; $C_p = 50\%$; для 2–х – $Z =$

7,0; $C_p = 35\text{--}45\%$; 3-х – $Z = 5,0$; $C_p = 33\text{--}38\%$; 6-ти – $Z = 3,0$; $C_p = 15\text{--}20\%$; 12-лопастный генератор имеет быстроходность $Z = 1,2$, а $C_p = 23\text{--}28\%$;

Основным критерием выбора ветроустановки является коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) C_p . На рисунке 8 приведен коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) C_p в зависимости от быстроходности ветрогенераторов Z [1, 2].



Рисунок 8 – Функциональные зависимости коэффициента использования энергии ветра C_p от быстроходности Z

На рисунке 8 обозначены следующие критерии и зависимости [1, 2]: 1 критерий Бетца–Жуковского ($C_p = 59,3\%$); 2 критерий Глауэрта (идеальное ветроколесо); 3 трехлопастной ветряк с горизонтальной осью; 4 двухлопастное ветроколесо с горизонтальной осью вращения (высокооборотное); 5 вертикальноосевые установки типа ротора Дарье, геликоидные, с прямыми лопастями; 6 многолопастное ветроколесо с горизонтальной осью; 7 ротор Савониуса (с вертикальной осью вращения).

Исходя из рисунка 8 видно, что наиболее оптимальным решением при выборе ветроколес для промышленной генерации являются 2-х (кривая 4) и 3-х (кривая 3) лопастные ветроколеса с горизонтальной осью вращения, у которых коэффициент использования энергии ветра выше, чем у остальных ветрогенераторов, и составляет 38–48 %.

8. Двухколесные ветрогенераторы со встречным вращением ветроколес

Ветрогенератор содержит два встречно вращающихся ветроколеса, одно из которых крепится к ротору, а второе – к статору генератора [7]. На валу располагают токосъемные кольца. Внешний вал крепится к телу гондолы

через подшипниковые опоры. Тело гондолы выполняется поворотным, ориентирующимся по ветру с помощью хвостового оперения, лопасти имеют форму воздушного винта.

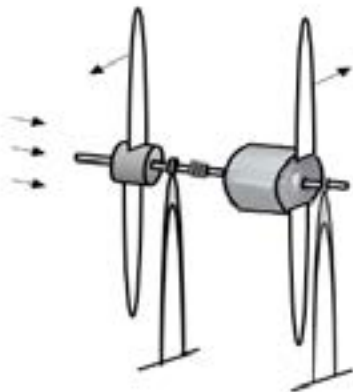


Рисунок 9 – Двухколесные ветрогенераторы со встречным вращением ветроколес

Достоинством и новизной ветрогенератора является возможность удвоения скорости вращения ротора относительно статора. Удвоение скоростей позволяет повысить эффективность генерации. Увеличивается мощность генерации за счет увеличения активных плоскостей, приводящих во вращение элементы генератора (ротора и статора) двумя ветроколесами. КИЭВ двух ветроколес для всей ветроустановки суммируется, а быстроходность увеличивается вдвое за счет противовращения. Так, если для традиционного одноколесного двухлопастного ветрогенератора с горизонтальным вращением $C_p = 38-45 \%$ и $Z = 3,5-8$, то для генератора со встречным вращением эти же параметры будут соответствовать $C_p = 76-90 \%$ (для двух ветроколес) и $Z = 7-16$. При этом удваивается площадь лопастей за счет использования второго ветроколеса, что приведет к возрастанию мощности генерации. Влияние турбулентности на второе ветроколесо незначительно до 10% , если расстояние между ветроколесами соответствует одному диаметру ветроколеса, при увеличении расстояния между ветроколесами до $2-3$ диаметров ветроколес, снижение оборотов второго ветроколеса не наблюдается, что свидетельствует о восстановлении ламинарности ветрового потока.

9 Качающиеся ветрогенераторы парусно–поршневые

Качающиеся ветрогенераторы имеют площади взаимодействия, установленные на мачте, и механизм преобразования механической энергии в электрическую (рисунок 9).

Площади взаимодействия могут иметь также различную форму. Так, лопасть или лопасти могут иметь форму в традиционном исполнении, форму квадрата, круга, сектора или какой-либо другой вид.

Качающиеся парусно–поршневые [8] (РФ), [8, 9] (Тунис), где имеют один или несколько качающихся парусов (рисунок 9), воздействующих на соответствующее количество поршней, возвратно поступательное движение которых преобразуется непосредственно в механическую энергию для вращения генератора, или через гидросистему подается на гидродвигатель вращающий электрогенератор. Такие ветрогенераторы разрабатывает фирма Saphon Energy Тунис. Вращающихся частей конструкция не имеет, внешне напоминает спутниковую антенну. В источнике [8] утверждается, что коэффициент использования энергии ветра КИЭВ Ср равен 80 %. Недостатками таких генераторов являются высокая парусность, что приводит к поломкам парусов или мачты (рисунок 9, б), механизм качания и преобразования возвратно поступательного движения в энергию вращения электрогенератора или гидродвигателя, который приводит во вращение электрогенератор.

В этом устройстве таким образом совмещаются для генерации электроэнергии и возвратно–поступательное движение и вращательное движение, что суммирует недостатки обоих способов движения.

Недостатком также является то, что, если во вращающихся ветрогенераторах движение однонаправленное – вращение в одну сторону, то в качающихся – движение рабочего органа имеет два направления: вперед под воздействием энергии ветра и назад – против ветра. То есть половину цикла движения «вперед–назад» энергия ветра не используется. Поэтому теоретически КИЭВ не может превышать 50 %.

10 Качающиеся пьезоэлектрические ветрогенераторы

Пьезоэлектрические мини ветроэлектрические станции [10] (рисунок 9, 10) работают в г. Масдар в ОАЭ с 2006 г., где установлены 1203 стебля из углеродистого волокна высотой 55 м с диаметром 30 см у основания и 5 см сверху, оснащенными по всему стеблю пьезоэлектрическими дисками, генерирующими электроэнергию при качании стеблей от ветра.



а)

б)

Рисунок 10 – Новая (а) и поврежденная (б) парусно–поршневые ветроэлектростанция

Нагрузкой является светодиодная лампа, установленная на верху мачты–стебля. В [11] указывается, что пьезоэлементы собранные по 100–200 элементов использованы на станции метро «Марунучи» (Токио, Япония) для управления турникетами, освещения сигнальных знаков на автостраде Венеция – Триест, но как оказалось мощность таких генераторов составляет микроджоули (600 мкДж с каждого элемента) и кпд – 0,12 %, длительность выброса энергии 0,08 наносекунд.



Рисунок 11 – Пьезоэлектрические ветроэлектростанция

Учитывая, что величина энергии, генерируемая пьезогенераторами незначительна, до настоящего времени пьезогенераторы для промышленной генерации электрической энергии не применяются [12, 13].

Материалы и методы исследования. Материалом исследования являются ветрогенераторы различных конструкций с приведенными техническими характеристиками. Известные и новые ветрогенераторы, в том числе по патенту автора, систематизированы по способу влияния ветрового потока на рабочие органы ветроустановок и структурированы в классификационную блок–схему, облегчающую выбор ветроустановок применительно к конкретным условиям.

Методы исследования и анализа, применяемые в статье – сравнение, анализ, систематизация.

Результаты и обсуждение.

Вертикально осевые ветроустановки конструктивно проще за счет возможности расположения электрогенератора в нижней части оси вращения и не требуют ориентации на ветер. Коэффициент использования энергии ветра у вертикально осевых генераторов с ротором Савониуса составляет $C_p = 4\text{--}13\%$, а быстроходность $Z = 0,4\text{--}1,5$.

Генераторы Дарье и его модификации имеют идентичные характеристики: $C_p = 25\text{--}35\%$, $Z = 5\text{--}7$ с ротором Дарье (требуют принудительный старт); $C_p = 25\text{--}35\%$, $Z = 5\text{--}7$ с геликоидным ротором; с прямыми лопастями до $C_p = 25\text{--}35\%$, до $Z = 5\text{--}7$.

Многолопастные ветрогенераторы:

- без концентраторов ветрового потока имеют КИЭВ $C_p = 10\text{--}28\%$ и быстроходность $Z = 0,4\text{--}1,5$;
- с концентраторами ветрового потока имеют КИЭВ $C_p = 11\text{--}30\%$ и быстроходность $Z = 0,44\text{--}1,7$.

Горизонтальные ветрогенераторы

Обороты ветрогенератора с горизонтальным ротором при одинаковой скорости ветра будут разные и зависят от количества лопастей и их длины. С увеличением числа лопастей и их длины быстроходность Z падает.

При прохождении воздуха через лопасти возникают турбулентные завихрения, тормозящие вращение ветроколеса. Поэтому с увеличением количества лопастей снижается быстроходность: причем,

для 1–лопастного ветроколеса быстроходность $Z = 9,0$; $C_p = 50\%$;

для 2–х – $Z = 7,0$; $C_p = 38\text{--}45\%$;

3–х – $Z = 5,0$; $C_p = 33\text{--}38\%$;

6–ти – $Z = 3,0$; $C_p = 15\text{--}20\%$;

12–лопастный генератор имеет быстроходность $Z = 1,2$; $C_p = 23\text{--}28\%$;

Горизонтальные генераторы со встречным вращением ветроколес имеют $C_p = 76\text{--}90\%$ (для двух ветроколес) и $Z = 7\text{--}16$, причем удваивается площадь лопастей за счет использования второго ветроколеса, что приведет к возрастанию мощности генерации.

Качающиеся ветрогенераторы ввиду низкой эффективности промышленного значения не имеют.

Информация о финансировании

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP14872147, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы.

Предложенная классификация ветрогенераторов по способу взаимодействия с ветровым потоком облегчает проектировщикам и пользователям выбрать ветрогенератор с заданными свойствами для конкретных условий применения.

Вертикально осевые ветроустановки конструктивно проще за счет возможности расположения электрогенератора в нижней части оси вращения и не требуют ориентации на ветер. Коэффициент использования энергии ветра у вертикально осевых генераторов с ротором Савониуса составляет $C_p = 4\text{--}13\%$, а быстроходность $Z = 0,4\text{--}1,5$.

Генераторы Дарье и его модификации имеют идентичные характеристики: $C_p = 25\text{--}35\%$, $Z = 5\text{--}7$.

Многолопастные ветрогенераторы: без концентраторов ветрового потока имеют КИЭВ $C_p = 10\text{--}28\%$ и быстроходность $Z = 0,4\text{--}1,5$; с концентраторами – КИЭВ $C_p = 11\text{--}30\%$ и быстроходность $Z = 0,44\text{--}1,7$.

Для 2-х лопастного ветрогенератора с горизонтальным ротором – $Z = 7,0$; $C_p = 38\text{--}45\%$; для 3-х – $Z = 5,0$; $C_p = 33\text{--}38\%$, дальнейшее увеличение лопастей приводит к существенному снижению показателей эффективности.

Горизонтальные генераторы со встречным вращением ветроколес имеют $C_p = 76\text{--}90\%$ (для двух ветроколес) и $Z = 7\text{--}16$, причем удваивается площадь лопастей за счет использования второго ветроколеса, что приведет к возрастанию мощности генерации.

Таким образом, наиболее эффективными в настоящее время являются двухколесные ветрогенераторы, имеющие возможность удвоения скорости вращения ротора относительно статора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Чижда, С. Н., Молчанов, С. В., Захаров, А. И.** Критерии выбора типа ветроустановок для мобильных ветро–солнечных электростанций. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико–математические и технические науки. 2018. № 1. С. 53–62. [Текст] // <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-vybora-tipa-vetroustanovok-dlya-mobilnyh-vetro-solnechnyh-elektrostantsiy/viewer>.

2 **Безруких, П. П., Безруких, П. П. (мл.), Грибков, С. В.** Ветроэнергетика: Справочнометодическое издание / Под общей редакцией П.П. Безруких. – М. : «ИнтехэнергоИздат», «Теплоэнергетик», 2014. — 304 с. (с. 110). [Текст] // <https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribov-s.v.-z-lib.org.pdf>

3 Быстроходность ветрогенераторов. [Текст] // <https://thepresentation.ru/img/tmb/1/68089/ba7b969b5866c814c284418a6ee27b83-800x.jpg>

4 Различные виды и типы ветрогенераторов [Текст] // <https://altenergiya.ru/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

5 Виды ветрогенераторов: плюсы и минусы, производители устройств и необычные конструкции. [Текст] // <https://energygo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

6 Вертикальный ветрогенератор 2 кВт FalconEuro, российский – цена от производителя – доставка по РФ. [Текст] // <https://proinstrument-shop.ru/products/vertikalnyj-vetrogenerator-2-kvt>

7 **Кайдар, А. Б., Шапкенов, Б. К.** Ветрогенератор со встречновращающимися ветроколесами. Патент РК № 31254 15.06.2016, бюл. № 6.

8 **Алешков, И. Н., Карбушев, В. Ф.** Качающий парус | Изобретения. Патент РФ № 2254495 от 15.12.2003 г: [Текст] // <https://maxpark.com/community/4484/content/1843084>

9 Парусный ветрогенератор. [Текст] // <https://stronews.ru/parusnyj-vetrogenerator/>

10 Пьезоэлектрический ветрогенератор | Проект Заряд. [Текст] // <http://zaryad.com/2011/08/11/pezoelektricheskiy-vetrogenerator/>

11 Пьезогенераторы – новые источники электроэнергии. Фантазии или реальность?» Сайт для электриков – статьи, советы, примеры, схемы. [Текст] // <http://elektrik.info/main/news/652-pezogeneratory-novye-alternativnye-istochniki-elektroenergii.html>

12 Abdal-Kadhim, A. M., Kok, Swee Leong, Kok-Tee, Lau. Impact based piezoelectric energy harvesting: effect of single step's force and velocity // J. of Telecommunication, Electronic and Comp. Engineering. 2016. Vol. 8, N 5. P. 125–129. [Текст] // https://www.researchgate.net/publication/309427410_Impact_Based_Piezoelectric_Energy_Harvesting_Effect_of_Single_Step's_Force_and_Velocity

13 Wang, F., Wu, W., Soroush, M., Amin, Abedini A. Energy Harvesting with a Piezoelectric Thunder // J. of Applied Nonl. Dynamics. 2016. Vol. 5, N 4. P. 423–439. [Текст] // https://www.researchgate.net/publication/315035370_Energy_Harvesting_With_a_Piezoelectric_THUNDER

REFERENCES

1 CHizhma, S. N., Molchanov, S. V., Zaharov, A. I. Kriterii vybora tipa vetroustanovok dlya mobil'nyh vetro–solnechnyh elektrostancij. [Criteria for choosing the type of wind turbines for mobile wind–solar power plants.] Vestnik Baltijskogo federal'nogo universitetaim. I. Kanta. Ser.: Fiziko–matematicheskie i tekhnicheskie nauki. 2018. № 1. P. 53–62. [Text] // <https://cyberleninka.ru/article/n/kriterii-vybora-tipa-vetroustanovok-dlya-mobilnyh-vetro-solnechnyh-elektrostantsiy/viewer>.

2 Bezrukih, P. P., Bezrukih, P. P. (ml.), Gribkov, S. V. Vetroenergetika: Spravochnometodicheskoe izdanie [Wind Energy: Reference Methodological Edition]/ Pod obshchej redakciej P. P. Bezrukih. – Moscow : «IntekhenergoIzdat», «Teploenergetik», 2014. – 304 p. (p. 110). [Text] // https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v.-z-lib.org_.pdf

3 Bystrohodnost' vetrogeneratorov. [The speed of wind turbines], [Text] // <https://thepresentation.ru/img/tmb/1/68089/ba7b969b5866c814c284418a6ee27b83-800x.jpg>

4 Razlichnye vidy I tipy vetrogeneratorov [Various types and types of wind turbines]. [Text] // <https://altenergiya.ru/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>.

5 Vidy vetrogeneratorov: plyusy i minusy, proizvoditeli ustrojstv i neobychnye konstrukcii [Types of wind turbines: pros and cons, device manufacturers and unusual designs]. [Text] // <https://eneruuuugo.house/veter/vidy-vetrogeneratorov.html>

6 Vertikal'nyj vetrogenerator 2 kVt Falcon Euro, rossijskij – cena ot proizvoditelya – dostavka po RF [Vertical wind generator 2 kW Falcon Euro, Russian – price from the manufacturer – delivery across the Russian Federation]. [Text] // <https://proinstrument-shop.ru/products/vertikalnyj-vetrogenerator-2-kvt>.

7 Kajdar, A. B., SHapkenov, B. K. Vetrogenerator so vstrechno vrashchayushchimisya vetrokolesami [Wind generator with counter–rotating wind wheels]. Patent RK № 31254 15.06.2016, byul. № 6.

8 Aleshkov, I. N., Karbushev, V. F. Kachayushchij parus | Izobreteniya. Patent RF № 2254495 ot 15.12.2003 g: [Rocking sail | Inventions. Patent of the Russian Federation No. 2254495 dated December 15, 2003:]. [Text] // <https://maxpark.com/community/4484/content/1843084>

9 Parusnyj vetrogenerator [Sailing wind turbine]. [Text] // <https://stronews.ru/parusnyj-vetrogenerator/>

10 P'ezoelektricheskiy vetrogenerator | ProektZaryad. [Piezoelectric Wind Generator | Charge project.]. [Text] // <http://zaryad.com/2011/08/11/pezoelektricheskiy-vetrogenerator/>

11 P'ezogeneratory – novye istochniki elektroenergii. Fantazii ili real'nost'»? Sajt dlya elektrikov – stat'i, sovery, primery, skhemy [Piezogenerators – new sources of electricity. Fantasy or reality? Site for electricians – articles, tips, examples, diagrams]. [Text] // <http://elektrik.info/main/news/652-pezogeneratory-novye-alternativnye-istochniki-elektroenergii.html>.

12 Abdal-Kadhim, A. M., Kok, Swee Leong, Kok-Tee, Lau. Impact based piezoelectric energy harvesting: effect of single step's force and velocity // J. of Telecommunication, Electronic and Comp. Engineering. 2016. Vol. 8, N 5. P. 125–129. [Text] // https://www.researchgate.net/publication/309427410_Impact_Based_Piezoelectric_Energy_Harvesting_Effect_of_Single_Step's_Force_and_Velocity.

13 Wang, F., Wu, W., Soroush, M., Amin, Abedini A. Energy Harvesting with a Piezoelectric Thunder // J. of Applied Nonl. Dynamics. 2016. Vol. 5, N 4. P. 423–439. [Text] // https://www.researchgate.net/publication/315035370_Energy_Harvesting_With_a_Piezoelectric_THUNDER.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

А. Б. Кайдар¹, С. С. Исенов¹, Р. М. Исаков¹,

Б. Қ. Шапкенов², С. Қ. Шерязов³

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ.,

²Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.,

³Оңтүстік Орал мемлекеттік Аграрлық университеті,
Ресей Федерациясы, Челябинск қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ЖІКТЕЛУІ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

Мақалада жел электрстанциялары талданады. Көлденең және тікәйналу осі бар жел қондырғылары, сондай-ақ жел ағынының әсерінен тербелетін жұмыс органының энергиясын пайдаланатын желқондырғылары қарастырылады.

Мақалада жел қондырғыларының 10 түрі қарастырылып, конструкциясы сипатталған, жел энергиясын пайдалану жылдамдығы мен жылдамдығы сияқты техникалық сипаттамалары берілген, жел

қондырғыларының қасиеттері, ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері талданған. Жұмыс істеу принциптері, көлемі берілген. Көлденең роторы бар жел қондырғылары жел энергиясын пайдаланудың жоғары коэффициенті мен жылдамдығының жоғары болуына байланысты тік айналу осі мен тербелмелі жел турбиналарына қарағанда тиімдірек екендігі атап өтілді.

Жел ағынымен әрекеттесу әдісі бойынша жел қондырғыларының классификациясы келтірілген, ол басқа белгілілерден тербелмелі жел турбиналарының класы және екі қарама-қарсы айналатын жел турбинасы бар көлденең айналу осі бар генераторлардың қосалқы сыныбымен ерекшеленеді. ротор мен статордың бұрыштық жылдамдықтарының қосындысын қамтамасыз ететін электр генераторының статоры мен роторына бекітілген дөңгелектер енгізіледі. Жел дөңгелектерінің кері айналуы бар жел генераторының артықшылығы мен жаңалығы статорға қатысты ротордың айналу жылдамдығын екі есе арттыру мүмкіндігі болып табылады. Жел турбинасының жаңалығы авторлардың өнертабысқа патентімен расталады. Жылдамдықты екі есе арттыру генерацияның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Генераторлық қуат генератор элементтерін (ротор мен статор) екі жел дөңгелегі арқылы айналдыратын белсенді жазықтықтарды ұлғайту арқылы артады. бүкіл жел турбинасы үшін екі жел доңғалақтарының жел энергиясын пайдалану коэффициенті ЖЭПК жинақталып, қарсы айналу есебінен жылдамдық екі еселенеді.

Кілтті сөздер: Жел генераторлары, жел дөңгелектері, жел турбиналары, жылдамдық, тиімділік, қалақ, айналу осі, тербелмелі генераторлар.

A. B. Kaidar¹, S. S. Issenov¹, R. M. Iskakov¹, B. K. Shapkenov²,
S. K. Sheryazov³

¹Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana,

²Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar,

³South Ural state agrarian University, Russian Federation, Chelyabinsk
Material received on 15.12.22

CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF WIND POWER PLANTS

The article analyzes wind power plants. Wind turbines with a horizontal and vertical axis of rotation, as well as wind turbines using the

energy of a working body swinging under the influence of a wind flow, are considered.

The article discusses 10 types of wind turbines, describes the design, provides technical characteristics, such as the utilization rate of wind energy and speed, analyzes the properties of wind turbines, features, advantages and disadvantages. The principles of work, scope are given. It is noted that wind turbines with a horizontal rotor are more efficient than wind turbines with a vertical axis of rotation and oscillating wind turbines due to a higher coefficient of wind energy utilization and high speed.

The classification of wind turbines according to the method of interaction with the wind flow is given, which differs from other known ones in that a class of oscillating wind turbines and a subclass of generators with a horizontal axis of rotation with two counter-rotating wind turbine wheels are introduced, which are attached to the stator and rotor of the electric generator, providing the summation of the angular velocities of the rotor and stator. The advantage and novelty of a wind generator with counter-rotation of wind wheels is the possibility of doubling the speed of rotation of the rotor relative to the stator. The novelty of the wind turbine is confirmed by the authors' patent for the invention. The doubling of the speeds makes it possible to increase the generation efficiency. The generation power is increased by increasing the active planes that rotate the elements of the generator (rotor and stator) by two wind wheels, the wind energy utilization coefficient WEUC of two wind wheels for the entire wind turbine is summed up, and the speed is doubled due to counter-rotation.

Keywords: Wind generators, wind wheels, wind turbines, speed, efficiency, blade, rotation axis, oscillating generators.

Теруге 15.12.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Mb RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4019

Сдано в набор 15.12.2022 г. Подписано в печать 30.12.2022 г.

Электронное издание

3,44 Mb RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4019

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар к., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz