



ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

WIND ENERGY

Статья поступила в редакцию 26.03.15. Ред. рег. № 2205

The article has entered in publishing office 26.03.15. Ed. reg. No. 2205

УДК 62-768

**ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛОПАСТИ ВЭУ
НА ОСНОВЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Е.В. Соломин, В.В. Долгошеев, И.А. Васильев

Южно-Уральский государственный университет
Россия 454080, г. Челябинск, пр. Ленина 76
тел/факс +79123171805; e-mail: nrgvictor@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.05.002

Заключение совета рецензентов: 30.03.15 Заключение совета экспертов: 03.04.15 Принято к публикации: 08.04.15

В статье описывается противообледенительная система, основанная на применении ультразвукового излучения для автоматического удаления льда с поверхности лопасти ветроэнергетической установки (ВЭУ). В представленной системе расположение рабочих элементов внутри лопасти выполнено таким образом, чтобы максимально сократить потребление электроэнергии и повысить коэффициент полезного действия устройства. Рассматривается использование устройств на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечные модули в системе обеспечения электроэнергией рабочих органов противообледенительной системы. Приведены различные альтернативные методы защиты лопастей ветроэнергетических установок от обледенения в условиях низких температур, в том числе работы иностранных коллег по данному вопросу. Произведено сравнение с аналогами и выявлен ряд преимуществ системы на основе ультразвукового излучения. Описана методика расчета элементов системы и приведена частичная детализировка функциональных блоков, подробно показывающая простоту схемы как в вопросе монтажа, так и в практическом использовании.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, противообледенительная система, ультразвуковое излучение.

**ULTRASONIC RADIATION ICE PROTECTION SYSTEM
FOR WIND POWER PLANT BLADE**

E.V. Solomin, V.V. Dolgosheev, I.A. Vasiliev

South-Urals State University
76 Lenin Str., Chelyabinsk, 454080 Russian Federation
ph./fax: +79123171805, e-mail: nrgvictor@mail.ru

Referred 30 March 2015 Received in revised form 3 April 2015 Accepted 8 April 2015

This paper describes the ice protection system using the ultrasonic radiation for automatic removal of ice from the wind power plant blade surface. Operating components inside the blade are arranged for maximum reduction of energy consumption and increase of the system efficiency. The authors proposed the usage of devices on the base of renewable energy sources such as solar panels, for electric power supply of operating components ice protection

system. The paper also gives the examples of other ice protection alternatives for wind turbine blades in low temperature conditions, including publications of colleagues in this area. The authors compared similar systems and discussed the advantages of the proposed ultrasonic radiation based system; and presented a method for the system component calculation and partially the functional modules showing the simplicity of the discussed system both in montage and practical usage.

Keywords: wind power plant, ice protection system, ultrasonic radiation.



Соломин Евгений
Викторович
Evgeny V. Solomin

Сведения об авторе: д-р техн. наук, доцент Южно-Уральского гос. университета.

Образование: Будапештский технический университет (1990).

Область научных интересов: ветроэнергетика, распределенная энергетика, возобновляемые источники энергии, гибридные энергокомплексы.

Публикации: 124.

Information about the author: Dr. Sc, Associate Professor of the South Ural State University.

Education: Technical University of Budapest (1990).

Research area: wind power, distributed power, renewable energy sources, hybrid power plants.

Publications: 124.



Долгошеев Виктор
Васильевич
Viktor V. Dolgosheev

Сведения об авторе: студент-бакалавр Южно-Уральского гос. университета.

Образование: бакалавр возобновляемых источников энергии и электротехники.

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, противообледенительные системы.

Information about the author: Student Bachelor of South Ural State University.

Education: bachelor of renewable energy and electrical engineering.

Research area: renewable energy sources, ice protection systems.



Васильев Иван
Александрович
Ivan A. Vasiliev

Сведения об авторе: студент-бакалавр Южно-Уральского гос. университета.

Образование: бакалавр возобновляемых источников энергии и электротехники.

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, противообледенительные системы.

Information about the author: Student Bachelor of South Ural State University.

Education: bachelor of renewable energy and electrical engineering.

Research area: renewable energy sources, ice protection systems.

Введение

В последние годы все чаще поднимается вопрос об ограниченности запасов полезных ископаемых, обработке и утилизации отработанных материалов. Невозобновляемые источники энергии, такие как газ, уголь, нефть, радиоактивные изотопы на сегодняшний день являются основным сырьем для производства электрической и тепловой энергии [1]. Однако с развитием технологий, экономическим и техниче-

ским развитием человечества запас этих ресурсов с каждым годом существенно снижается. Решением этой проблемы начали заниматься более полувека назад. Частичное введение или полное замещение традиционных энергоносителей на возобновляемые источники энергии позволяет не только резко сократить добычу ископаемых, но и изменить в целом принципы получения энергии [1,2]. При определенных условиях и государственной поддержке в считанные десятилетия получение электроэнергии от

возобновляемых источников может эволюционировать во множество вариаций с реализацией в различных климатических и географических условиях, что уже сегодня на опыте ряда стран позволяет рассматривать возобновляемую энергетику на уровне государственных энергобалансов как прямую конкуренцию традиционным подходам [2].

Одной из самых конкурентоспособных отраслей возобновляемых источников энергии является ветроэнергетика [3]. Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) позволяет получать электроэнергию за счет преобразования кинетической энергии движущихся масс воздушного потока в механическую энергию движения ротора и затем в электрическую энергию генератора [6]. Широкая возможность применения характеризует быстрый прирост общей установленной мощности мирового парка ВЭУ. Так, на июль 2012 года мировая ветроэнергетика достигла 254 ГВт установленной мощности, на конец 2013 года уже более 300 ГВт и к началу 2015 года общая установленная мощность составила 369 ГВт [5].

Существует два основных типа установок: горизонтально-осевые и вертикально-осевые [2]. Наибольшее распространение получили ВЭУ горизонтального типа, но в последнее время активно вводятся в эксплуатацию ветроустановки с вертикальной осью вращения (рис. 1).

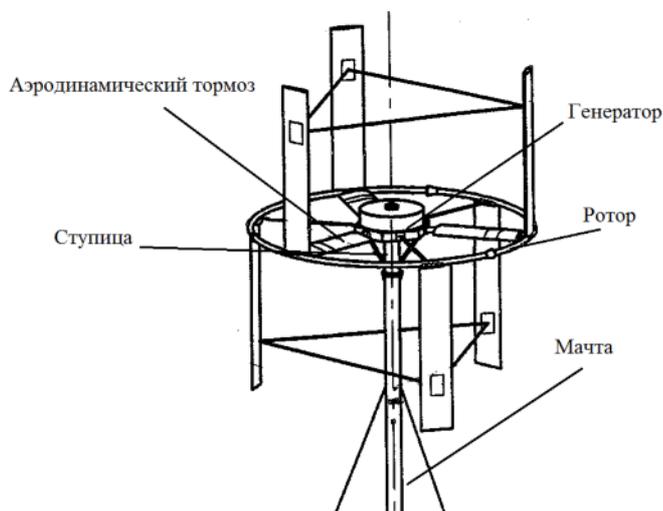


Рис. 1. Ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения
Fig. 1. Vertical Axis Wind Turbine

Такие ВЭУ имеют ряд преимуществ: выработка электроэнергии осуществляется при относительно малой скорости ветра, отсутствует зависимость от направления ветра и т.д. [1]. Кроме того, благодаря вертикальному расположению лопастей все точки профиля движутся с одинаковой линейной скоростью, что снижает эффекты срыва потока, в связи с чем инфразвуковые колебания ничтожно малы [3].

Необходимость противообледенительной системы

При эксплуатации ВЭУ в холодных климатических условиях неизбежно происходят перепады температуры, нередко сопровождающиеся выпадением осадков. При отрицательной температуре, близкой к 0 °С, и при наличии определенной влажности или осадков на рабочих органах ВЭУ образуется иней или наледь, за счет чего ухудшаются аэродинамические свойства ротора ВЭУ, появляется дисбаланс, что может вызвать разрушение ротора. Следовательно, изучение технологий удаления наледи с лопастей ВЭУ является как нельзя более актуальным [6].

Существующие устройства противообледенительных систем лопастей ВЭУ

На данный момент известен целый ряд технических решений проблемы удаления льда с поверхности лопасти, но ни одно из них не применяется серийно в ветроэнергетической промышленности. Например, китайскими учеными была представлена «Система антиобледенения и устранения льда с поверхности крыла самолёта и аналогичных объектов» [4]. Система представляет собой устройство, которое относится к противообледенительным системам с использованием ультразвуковых волн для очистки крыла самолета или аналогичного объекта ото льда. Система содержит множество пьезоэлектрических преобразователей, установленных внутри объекта напротив очищаемой поверхности, и включает в себя излучающие устройства в виде элементарных ячеек, объединенных в матрицу. Эти устройства в состоянии сконцентрировать волны с помощью устройств концентрации. Основным недостатком прототипа является сложность и дороговизна конструкции: большое количество комплектующих устройств, низкая ремонтопригодность, ненадежность концентрирующих элементов и сложность настройки концентрации волн.

Существуют различные способы тепловой защиты работающей установки. Например, система обогрева турбины Дарье, включающая вертикальную неподвижную стойку и соосный ей вал вращения, соединенный с рабочими лопастями турбины с помощью трубопроводов. С помощью внутренней естественной вентиляции установки, возникающей вследствие центробежной силы, организуется обогрев всех ее элементов теплым воздухом (возникающим естественным путем при работе генератора с выбросом отработавшего воздуха в атмосферу).

В некоторых горизонтально осевых ВЭУ используются различные системы на основе инфракрасного излучения, где обледеневшую поверхность локально нагревают до температуры таяния льда. Данный способ эффективен, но весьма энергозатратен, что и является существенным минусом в условиях использования в ВЭУ [2, 6].

Противообледенительная система на основе ультразвукового излучения

Авторами предлагается иное решение проблемы удаления льда с поверхности лопасти ВЭУ. Работа системы противообледенения основана на свойстве ультразвукового излучения определенной частоты ($f = 25...27$ кГц) разрушать лёд. Ниже на рис. 2 и 3 подробно описана и иллюстрирована конструкция противообледенительного устройства.

Система расположена внутри лопасти 1 и представляет собой линейные батареи ультразвуковых излучателей 2, чередующихся с линейными батареями датчиков обледенения (сигнализаторов обледенения) 3 и синхронизируемых системой управления 4 в соответствии со степенью обледенения очищаемой поверхности, при этом источником питания противообледенительной системы и системы управления 4 является аккумулятор 5, заряжающийся от солнечных модулей 6, размещённых на боковой поверхности лопасти 1 (рис. 2, рис. 3).

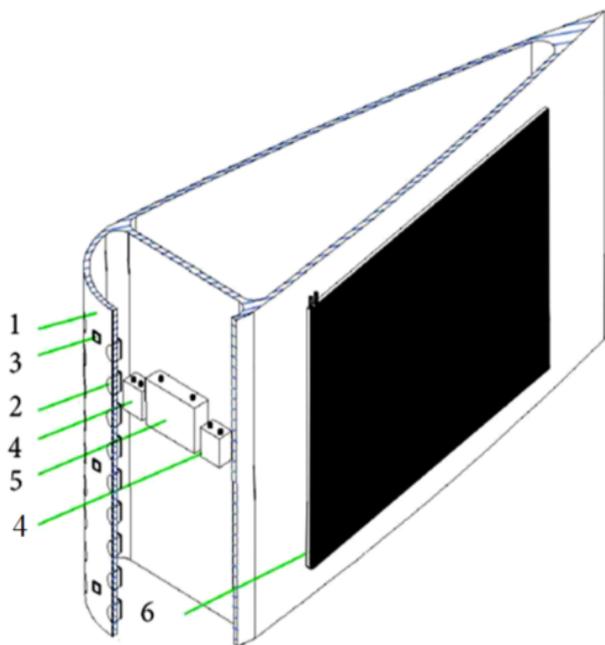


Рис. 2. Устройство системы противообледенения (внутренние элементы)
Fig. 2. Ice protection system (inner components)

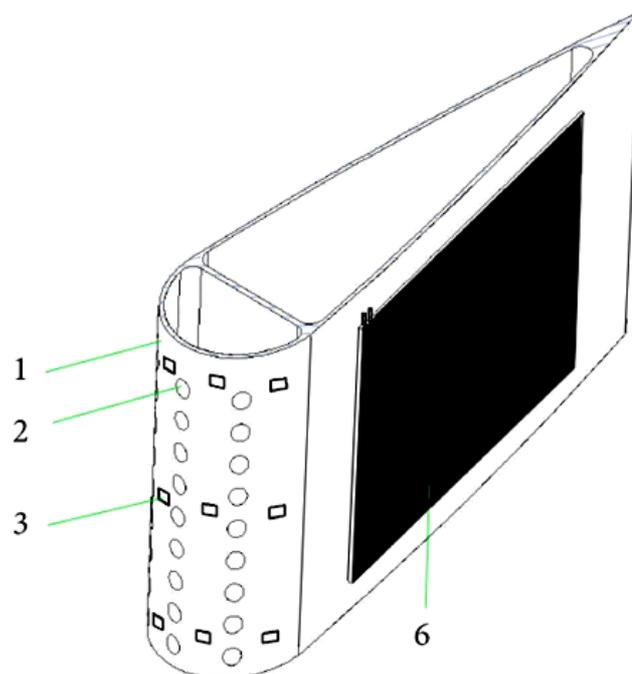


Рис. 3. Устройство системы противообледенения (наружные элементы)
Fig. 3. Ice protection system (outer components)

При температуре ниже 0°C на поверхности лопасти 1 возможно образование ледяного покрова, что отрицательно влияет на аэродинамические свойства ВЭУ и нарушает балансировку ветроколеса. При образовании льда на поверхности определенного сегмента лопасти 1 срабатывает соответствующая линейная батарея датчиков (сигнализаторов) обледенения 3, подающая сигнал системе управления 4 на включение двух соседних линейных батарей ультразвуковых излучателей 2, которые, работая в определенном диапазоне частот, очищают поверхность лопасти 1 путём разрушения льда. Питание систем линейных батарей 1, 2 и системы управления 4 осуществляется от аккумулятора 5, который заряжается от солнечных модулей 6, расположенных на боковой поверхности лопасти 1.

Методика расчета элементов системы

1. Для обеспечения электроэнергией составляющих элементов системы необходим дополнительный

источник энергии. Брать электричество непосредственно с генератора ВЭУ технически трудно осуществимо, и при реализации данной идеи экономические затраты, только для решения проблемы электроснабжения, будут значительно превышать стоимость всего проекта противообледенительной системы. Рациональным подходом к решению данного вопроса будет установка в систему электроснабжения солнечных модулей, размещенных непосредственно на лопастях ВЭУ.

Выработка электрической энергии солнечной батареи

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{вал}} \cdot F_{\text{с}} \cdot m \cdot k_i \cdot n_{\Delta p}^m \cdot n_{\Delta \alpha}^m, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – выработка электроэнергии, кВт·ч; $\mathcal{E}_{\text{вал}}$ – валовый удельный приход солнечной радиации, кВт·ч; $F_{\text{с}}$ – площадь солнечного модуля, м^2 ; m –

количество модулей; kt – температурный коэффициент; $n_{\Delta p}^m \cdot n_{\Delta s}^m$ – потери мощности.

2. Электроэнергия, получаемая от солнечной батареи, заряжает АКБ (аккумуляторную батарею), расположенную и жестко закрепленную внутри лопасти, что дает возможность системе работать в ночное время суток, когда температуры окружающей среды гораздо ниже дневных. И как следствие, энергии, которую необходимо получить от солнечного модуля, должно быть больше, чем предполагаемого потребления электроэнергии датчиками и излучателями.

Потребление электроэнергии датчиками и излучателями

$$W = \frac{Pt}{1000}, \quad (2)$$

где W – потребление электроэнергии кВт·ч; P – мощность приборов кВт; t – время работы приборов, с.

Выводы

Система противообледенения ВЭУ на основе ультразвукового излучения обеспечивает безопасность эксплуатации ВЭУ; расположение датчиков (сигнализаторов) и излучателей в виде линейных батарей позволяет максимально эффективно и экономично использовать энергию и очищать только сегменты лопасти, покрытые льдом, а не всю поверхность лопасти. Стоимость изготовления и установки такого оборудования будет значительно меньше по сравнению с существующими системами.

Список литературы

1. Соломин Е.В. Ветроэнергетическая экономика // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2010. № 2. С. 28–30.
2. Solomin E.V. Joint scientific research of Russian and German scientists in renewable energy // International Scientific Journal for Alternative energy and ecology (ISJAEE). 2011. № 10. С. 82–88.

3. Соломин Е.В. Перспективы использования малых ветроэнергетических установок в агропромышленном комплексе // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. Вып. 7. С. 12–15.

4. Пат. CN 101525053 A, Китай, G01B17/06. Anti-icing/de-icing system and method and plane using the same / Polina Teneibulei, Mark-Fransua Khiks / № 200910126381 // заявл. 05.03.2009; опублик. 09.09.2009

5. World Wind Energy Association / Japanese regions transition to 100 % renewable energy // <http://www.wwindea.org/home/index.php>.

6. Кирпичникова И.М., Мартьянов А.С., Соломин Е.В. Преобразование энергии в ветроэнергетических установках // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2010. № 1. С. 93–97.

References

1. Solomin E.V. Vetroenergetičeskâ ekonomika. *International Scientific Journal "Alternativnââ energetika i ekologiâ"* (ISJAEE), 2010, no. 2, pp. 28–30 (in Russ.).
2. Solomin E.V. Joint scientific research of Russian and German scientists in renewable energy. *International Scientific Journal for Alternative energy and ecology* (ISJAEE), 2011, no. 10, pp. 82–88 (in Eng.).
3. Solomin E.V. Perspektivy ispol'zovaniâ malyh vetroenergetičeskikh ustanovok v agropromyšlennom komplekse. *Mehanizaciâ i elektrifikaciâ sel'skogo hozâjstva*, 2011, issue 7, pp. 12–15 (in Russ.).
4. Polina Teneibulei, Mark - Fransua Khiks. Anti-icing/de-icing system and method and plane using the same. Pat. CN 101525053 A, Chine, G01B17/06. no. 200910126381; publ. 09.09.2009 (in Eng.).
5. World Wind Energy Association / Japanese regions transition to 100% renewable energy. Available at: <http://www.wwindea.org/home/index.php> (in Eng.).
6. Kirpichnikova I.M., Mart'yanov A.S., Solomin E.V. Preobrazovanie ènergii v vetroenergetičeskikh ustanovkah. *International Scientific Journal "Alternativnââ energetika i ekologiâ"* (ISJAEE), 2010, no. 1, pp. 93–97 (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

