

УДК 629.03

Использование ветроустановки турбинного типа на аэродромах

© Д.Ю. Криулин¹, Д.А. Еловенко²Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

Рассмотрена возможность использования ветроустановки турбинного типа на аэродромах. Проанализирован принцип работы ветроустановки, который основан на преобразовании энергии набегающего потока в электрическую. Также проанализированы характеристики различных современных ветроустановок при их работе в различных режимах, выявлены основные проблемы. Даны рекомендации по интеграции ветроустановки турбинного типа в систему аэродрома.

Ключевые слова: ветроустановка турбинного типа, трехлопастная ветроустановка, ветроэнергетическая установка, аэродром, воздушный поток

Wind turbine usage at airfields

© Dmitry Yu. Kriulin, Denis A. Yelovenko

Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation

The article discusses the possibility of using a wind turbine at airfields. It analyzes the principle of operation of wind turbines, which is based on the conversion of free-stream energy into electrical energy. The article also analyzes the characteristics of various modern wind turbines in their operation in different modes and identifies the main problems. The article provides recommendations for the integration of wind turbines into the airfield system.

Keywords: wind turbine, three-blade wind turbine, wind power plant, airfield, air flow

Повышение спроса на такие энергетические ресурсы, как нефть, уголь и газ, и уменьшение их запасов привели к существенному увеличению цен на данные энергоносители, а последствия выбросов CO₂ и глобальное потепление побудили потребителей и политиков всего мира искать альтернативные варианты.

Энергетический сектор является крупнейшим источником загрязнения, на который приходится более 40% CO₂ и 25% от общего объема всех выбросов в атмосферу [1]. В соответствии с Киотским протоколом поставлена масштабная задача по сокращению выбросов на 25–40% к 2020 г. относительно 1990 г., что потребует от правительств промышленно развитых стран более эффективного управления энергоресурсами. В связи с этим неизбежен переход на возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и энергия ветра [2].

Ветроэнергетика в настоящее время является быстро развивающейся отраслью народного хозяйства. Производство электроэнергии «на месте» позволяет избежать потерь энергии при ее транспортировке и затрат на эксплуатацию сетей. Треть электроэнергии в мире к середине текущего столетия должна производиться за счет энергии ветра [3]. При этом цены на энергию, производимую за счет ветра, падают с ростом объемов ее производства, а область ее применения только расширяется. Например, компании Airbus и Siemens планируют уже к 2030 г. эксплуатацию пассажирских самолетов на электричестве, а

¹ Криулин Дмитрий Юрьевич, студент гр. Элбп-16, e-mail: kriulin.dm@gmail.com

Dmitry Yu. Kriulin, student of Aircraft and Machinery Construction and Transportation Institute, e-mail: kriulin.dm@gmail.com

² Еловенко Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и стандартизации в машиностроении, e-mail: elovenko03@gmail.com

Denis A. Yelovenko, Cand. Sci. (Technics), Associate Professor of Design and Standardization in Mechanical Engineering Department, e-mail: elovenko03@gmail.com

при поддержке Boeing компания Zunum Aero планирует эксплуатацию 12-ти местных пассажирских самолетов уже с 2022 г. [4, 5].

Взлетно-посадочная полоса (ВПП) любого аэропорта – это огромные запасы ветровой энергии. Но из-за ряда конструктивных особенностей современные ветроэнергетические установки работают в достаточно узком диапазоне ветров – от 3 до 30 м/с. На рис. 1 представлена зависимость мощности, вырабатываемой ветроэнергетической установкой (ВЭУ), от скорости воздушного потока.

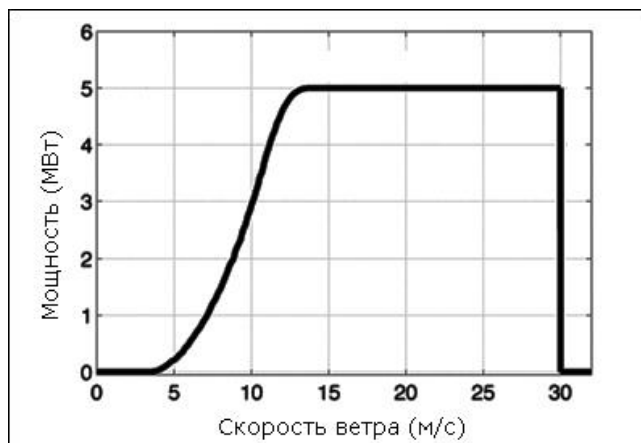


Рис. 1. График зависимости мощности от скорости ветра

Скорость воздушных масс от работающих авиационных двигателей в пределах ВПП находится в диапазоне 50–150 м/с. В связи с этим ветроэнергетические компании не оставляют попытки использовать этот высокоэффективный ветровой ресурс, но длинные лопасти ветроколес известных горизонтальных и вертикально-осевых ВЭУ не позволяют вырабатывать электроэнергию при скоростях свыше 30 м/с.

Преимущество вертикально-осевых установок (рис. 2) состоит в том, что они работают вне зависимости от направления ветра, но их энергоэффективность в 2–3 раза меньше в сравнении с трехлопастной ВЭУ в силу своих аэродинамических свойств, и объясняется это прежде всего необходимостью обратного движения лопастей против направления движения ветра. Для установок такого типа компания Voing предложила получать электроэнергию от взлетающих самолетов [6].



Рис. 2. Вертикально-осевая ветроустановка

Однако и горизонтально-осевым ВЭУ трехлопастного типа присущ ряд недостатков. Во-первых, основная проблема связана с необходимостью ориентации ветроколеса против ветра, что требует наличия в их конструкции систем ориентации для непрерывного слежения за ветровой обстановкой (изменением розы ветров), поиска направления с максимальным ветровым потенциалом, поворота ветроколеса в этом направлении и его удержания в

таком положении. Необходимость наличия системы ориентации усложняет конструкцию, делает ее более дорогой, а также снижает надежность в процессе эксплуатации.

Во-вторых, из-за запаздывания действия механизмов ориентации практически невозможно эффективно ориентировать ветроколесо при «рыскающих» разнонаправленных ветрах. Для ветроустановок средней и большой мощности с диаметром ветроколеса более 30–40 м эффективность ориентации на ветер значительно снижается вследствие различия в скоростях ветрового потока и длины размаха лопасти. Также скорость ориентации лопастей в скоростях ветрового потока по длине размаха лопасти и по различию направления ветра на ометаемой площади ветроколеса.

Расчет мощности N современных ВЭУ производится по формуле:

$$N = \frac{\rho \cdot v^3 \cdot F \cdot E}{2080} \text{ (кВт)},$$

где ρ – массовая плотность воздуха (при нормальных условиях равна $0,125 \text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$); v – скорость ветра, м/с; F – площадь ометаемой ветроколесом поверхности, м^2 ; E – коэффициент использования энергии ветра.

Коэффициент использования энергии ветра E зависит от типа ветродвигателя, качества его изготовления и других параметров. Лучшие быстроходные трехлопастные ветродвигатели, имеющие обтекаемые аэродинамические лопасти, достигают значения $E = 0,4–0,45$. Это означает, что ветроколесо может полезно использовать 40–45% энергии воздушного потока. Максимальное теоретически вычисленное значение $E = 0,593$. На практике, сравнивая теоретические результаты с характеристиками по паспорту трехлопастных ВЭУ, $E = 0,3–0,35$ [7]. Расчетная мощность двух типов ветроустановок представлена в таблице.

Зависимость вырабатываемой удельной мощности ветроустановки от скорости потока

Скорость ветра, v , м/с	Мощность, N , Вт	
	трехлопастной ВЭУ	ВЭУ «AeroGlobal»
1	0,04	0,1
5	5,5	13,5
10	44	108
15	120	264
20	120	365

На практике же значения трехлопастной ВЭУ совершенно иные. При ураганных ветрах (25 м/с и более) повышается вероятность разрушения ветроэнергетических установок ввиду того, что лопасти имеют большую длину и, соответственно, большой прогиб. Это существенно усложняет их эксплуатацию. Вращение длинных лопастей ограничено уже при скорости ветра 12 м/с, как это видно на графике работы ветроустановки (рис. 3), хотя именно на высоких скоростях выработка электроэнергии наиболее эффективна, поскольку вырабатываемая мощность имеет кубическую зависимость от скорости ветра.

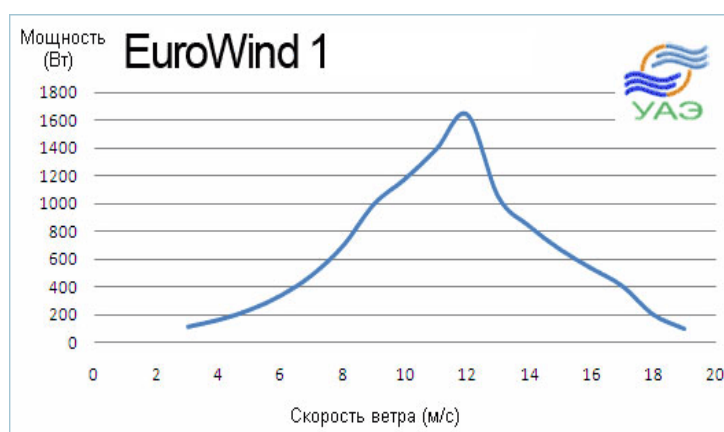


Рис. 3. Зависимость вырабатываемой мощности трехлопастной ветроустановки от скорости ветра

Эту проблему невозможно решить известными ветроустановками из-за особенностей конструкции ветроколеса с длинными лопастями, поэтому в настоящее время в ветроэнергетике широко внедряются ветроустановки турбинного типа, которые имеют короткие лопасти. В отечественной ветроэнергетике известна ветроустановка турбинного типа вертикально-осевой схемы по проекту AeroGlobal, которая вместо длинных лопастей имеет короткие и жесткие лопасти, а основная проблема горизонтально-осевых ВЭУ – ориентация ветроколеса на ветер, в этой установке отсутствует.

За счет применения турбинных технологий и оригинальной конструкции коэффициент использования установленной мощности в ВЭУ AeroGlobal выше существующих вертикально-осевых ветроэнергетических установок трехлопастной схемы из-за отсутствия необходимости ориентации ветроколеса на ветер. Аэродинамическая турбина может работать в очень широком диапазоне скоростей. Достигается это, как известно, путем установки перед вращающимся рабочим ветроколесом (Р.К.) неподвижного направляющего аппарата (Н.А.), благодаря чему воздух поступает на лопасти турбоколеса всегда под оптимальным углом. На рис. 4 наглядно проиллюстрировано направление движения воздушного потока в ветроустановке турбинного типа.

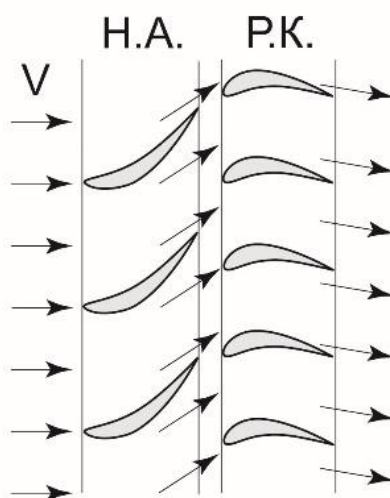


Рис. 4. Направление движения воздушного потока в ветроустановке турбинного типа

В верхней части ВЭУ AeroGlobal на дискообразном обтекателе создается разрежение от действия ветра и образуется область пониженного давления (аналогично крылу самолета), что способствует ускорению воздушного потока, проходящего через рабочее колесо. Благодаря применению турбинной технологии воздушный поток получает ускорение не менее чем в 1,5 раза за счет профилированных межлопаточных каналов неподвижного направляющего аппарата.

В отличие от трехлопастной ВЭУ ветроколесо ВЭУ AeroGlobal вращается не в вертикальной плоскости, а в горизонтальной, т.е. параллельно земле. Воздушные массы с любой стороны перемещаются по сужающемуся корпусу ветроустановки вверх вдоль вертикально-установленных ребер и направляются через лопасти ветроколеса в зону разрежения верхнего обтекателя (рис. 5) [8].

Описанные выше особенности конструкции позволяют получить ускорение воздушного потока и обеспечивают страгивание ветроколеса даже небольшого размера (например, при $D = 1$ м) уже при скорости ветра от 1,5 м/с.

При ураганных ветрах (25 м/с) и большой скорости воздушных потоков от авиадвигателей самолета (30 и более м/с) конструкция ВЭУ AeroGlobal обеспечивает стабильную работу за счет использования коротких жестких лопаток ветроколеса, выполненных из легких полимерных материалов, и не имеет ограничений по вращению вплоть до скоростей 120–150 м/с. Таким же образом решаются проблемы попадания в плоскость вращения посторонних предметов (в том числе птиц, крупных насекомых), обледенения лопаток. Эти помехи создают серьезные проблемы для работы уже известных и эксплуатируемых конструкций ВЭУ. На рис. 6 показано ее возможное применение на ВПП.

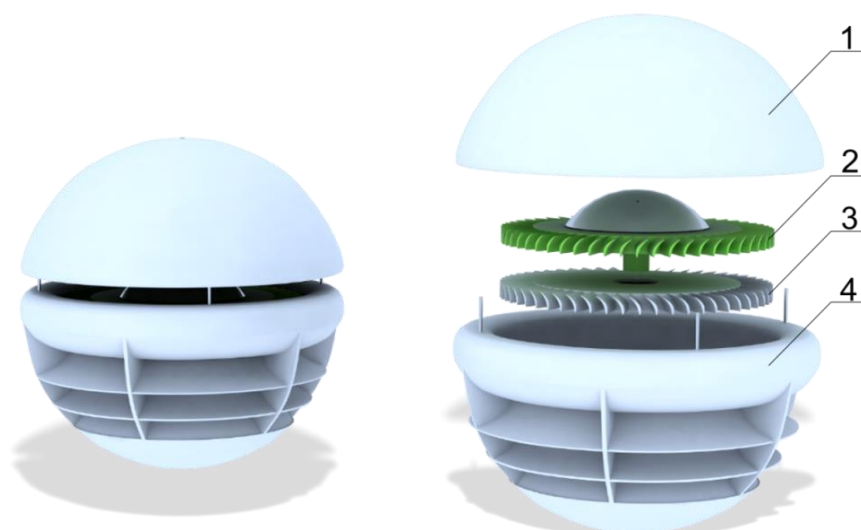


Рис. 5. Ветроустановка турбинного типа AeroGlobal:
 1 – обтекатель; 2 – рабочее колесо; 3 – направляющий аппарат; 4 – корпус



Рис. 6. Схема перспективного расположения ветроустановки AeroGlobal на ВПП

Испытания модели ветроколеса ВЭУ AeroGlobal в аэродинамической трубе показали устойчивую работу при скорости воздушного потока 30 м/с и более, что характерно для турбинных колес авиационных двигателей. Использование установки на аэродромах позволяет снять ограничения по скорости ветра и значительно расширить эксплуатационные режимы по выработке электричества.

Применение ВЭУ турбинного типа на аэродромах является инновационным решением. Появляется огромный ресурс для получения экологически чистой энергии для зарядки электросамолетов, а также для освещения ВПП, стоянок и всего аэродромного комплекса.

В заключении отметим, что результатом проведенного исследования стала формулировка общих рекомендаций по использованию ВЭУ AeroGlobal на аэродромах. Применение установки предложенного типа позволит решить ряд проблем, с которыми столкнулись производители известных ВЭУ, и расширить сферу применения экологически чистых источников энергии в сфере авиационного транспорта.

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России; НИА-Природа. 2017. 760 с.
2. Россия и Киотский протокол: проблемы и возможности / под ред. А. Корппоо, Ж. Карас, М. Грабба. М., 2006. 177 с.

3. Рокотян С.С., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.
4. Siemens [Электронный ресурс]. URL: [https://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2016/corporate/pr2016040246coen.htm&content\[\]=Corp](https://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2016/corporate/pr2016040246coen.htm&content[]=Corp) (23.11.2018).
5. TechCrunch: Robotics + AI2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://techcrunch.com/2017/10/05/how-zunum-aeros-hybrid-electric-planes-aim-to-transform-flight-starting-in-2022/> (23.11.2018).
6. Christiner M., Dobbins R., Ndegwa A., Sivak J. Rooftop Wind Turbine Feasibility in Boston, Massachusetts. 2010.
7. Абильдинова С.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: конспект лекций для студентов специальности 5В071700 – Теплоэнергетика. Алматы: Изд-во АЭУС, 2017. 73 с.
8. AeroGreen [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aerogreen.info> (23.11.2018).