



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДВОЙНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОГО ВЕТРОКОЛЕСА

Е.В. Капля

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110 г. Волжский, Волгоградская обл., пр. Ленина, д. 69
Тел.: (8443) 210160, e-mail: ev-kaple@yandex.ru

Заключение совета рецензентов: 19.04.15 Заключение совета экспертов: 23.04.15 Принято к публикации: 27.04.15

Представлены результаты экспериментальных исследований вращения двойного горизонтально-осевого ветроколеса. Исследована зависимость частоты вращения двойного ветроколеса от осевого расстояния между геометрическими центрами ветроколес и относительного углового смещения ветроколес.

Ключевые слова: ветроколесо, вращение, двойное ветроколесо, соосные ветроколеса.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON THE ROTATION FREQUENCY OF DUAL HORIZONTAL-AXIS WIND ROTORS

E.V. Kaplya

Volzhsky Branch of the National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
69 Lenin str., Volzhsky, Volgograd reg., 404110, Russia
Tel.: (8443) 210160, e-mail: ev-kaple@yandex.ru

Referred: 19.04.15 Expertise: 23.04.15 Accepted: 27.04.15

Presents the results of experimental researches on the rotation of dual horizontal-axis wind turbine (HAWT). The dependence of the rotation frequency dual HAWT from the axial distance between the geometric centers of the HAWTs and relative angular displacement of the HAWTs is investigated.

Keywords: wind rotor, wind turbine, rotation, dual wind rotor, coaxial wind rotors, HAWT.





Егор Викторович
Капля
Egor V. Kaplya

Сведения об авторе: канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств» Волжского филиала Московского энергетического института, ведущий научный сотрудник лаборатории диагностики и прогнозирования.

Образование: Волгоградский гос. технический университет (2000).

Область научных интересов: энергетика, автоматизация.

Публикации: 62.

Information about the author: candidate of physical and mathematical sciences, docent faculty «Automation of technological processes and productions» of the branch Moscow power institute in the Volgsky city, leading researcher in laboratory of diagnostics and prediction the branch Moscow power institute in the Volgsky city.

Education: Volgograd State Technical University (2000).

Research area: power engineering, automation.

Publications: 62.

Введение

Повышение эффективности ветроэнергетических установок (ВЭУ) обычно осуществляется путем совершенствования конструкции ветроколес (ВК), что приводит к изменению аэродинамических характеристик ВК [1-3]. Аэродинамический вращающий момент и коэффициент мощности одиночного ВК вычисляются на основе измеренных значений частоты вращения ВК и скорости воздушного потока по известным формулам [1-5]. Использование нескольких ВК на одном валу позволяет получить больший вращающий момент, но требует более сложных креплений и дополнительных материальных затрат по сравнению с одиночным ВК.

Цели исследования:

1. Экспериментальные исследования вращения двойного горизонтально-осевого ВК в установившемся режиме.
2. Получение и анализ экспериментальной зависимости установившейся частоты вращения двойного ВК от осевого расстояния между геометрическими центрами ВК и относительного углового смещения ВК.
3. Сравнительный анализ установившейся частоты вращения двойного и одиночного ВК.

Экспериментальная установка

Экспериментальные исследования и оптимизацию характеристик ВЭУ целесообразно выполнять с использованием регулируемых и видоизменяемых элементов. Разработанная экспериментальная установка (рис. 1) предназначена для исследований аэродинамических и электромеханических характеристик различных макетов ВЭУ. Рассмотрим систему из двух соосных трехлопастных ВК одинакового типа и диаметра, закрепленных на общем валу (рис. 1) и вращающихся совместно с одной и той же угловой скоростью.



Рис. 1. Фотография экспериментальной установки
Fig. 1. A photograph of the experimental plant

В качестве ВК использованы два трехлопастных пропеллера GWS1060 типа CW радиусом $R = 125$ мм. Вал разработанного ВК представляет собой стальной стержень с резьбой М6. Подшипники вала ВК закреплены на двух вертикальных стойках из стальных труб диаметром 16 мм и высотой 300 мм (рис. 2).

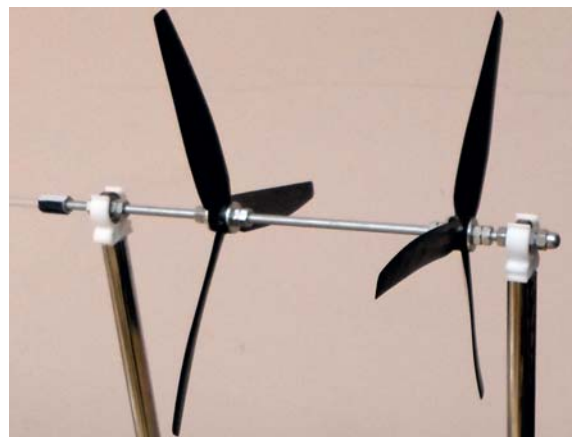


Рис. 2. Фотография двойного горизонтально-осевого ВК
Fig. 2. A photograph of the dual horizontal-axis wind turbine

Ступицы ВК можно перемещать вдоль вала и закреплять на различном расстоянии друг от друга и от опор. Осевое расстояние между геометрическими центрами ступиц обозначим L . Каждую ступицу можно поворачивать относительно другой ступицы на угол α и фиксировать в заданном положении (рис. 3). Конструкция макета ВЭУ позволяет выбирать величину L в пределах $L \in [11; 180]$ мм и задавать произвольные α . В случае трехлопастных ВК имеет смысл варьировать величину α в пределах $\alpha \in [0; 120]^\circ$.

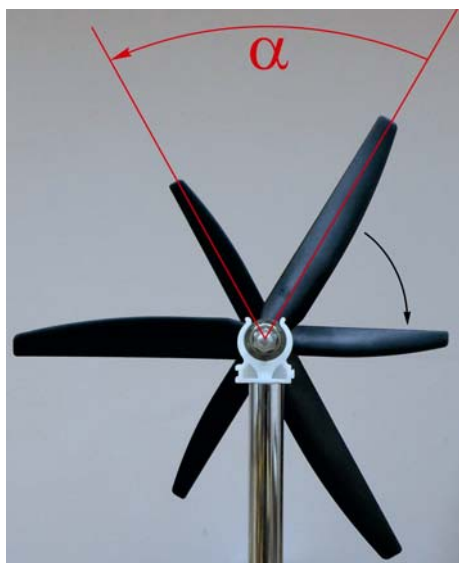


Рис. 3. Фотография двойного горизонтально-осевого ВК (вид спереди)
Fig. 3. Photo double HAWT (front view)

Параметр α – угол между передней кромкой лопасти фронтального ВК и передней кромкой лопасти (ближайшей по направлению вращения) второго ВК.

Описание экспериментов

В процессе эксперимента расстояние L между ВК и относительный угол α поворота ВК варьировались в указанных пределах. Угол α измерялся по снимку высокого разрешения. Оптическая ось объектива фотоаппарата, закрепленного на штативе, совмещалась с осью вала ВК. Угол α вычислялся на ЭВМ по трем точкам: центральной точке на торце вала и точкам на концах передних кромок соответствующих лопастей ветроколес.

Измерения частоты вращения ВК выполнены с помощью бесконтактного лазерного цифрового тахометра DT-2234C+. Частота f вращения вала ВК измерялась в установившемся режиме вращения ВК.

Скорость воздушного потока измерена анемометром АН507 в отсутствие ВК в окрестности мест последующего расположения ступиц фронтального ВК

и второго ВК. Скорость воздушного потока в обоих местах почти одинакова (с точностью до 0,1 м/с) и равна $\approx 3,2$ м/с. Фронтальный ВК во всех опытах находился на постоянном удалении от нагнетателя воздушного потока. В процессе эксперимента выполнялось смещение заднего ВК. Все измерения частоты вращения ВК выполнены в одном и том же режиме работы вентилятора, создающего воздушный поток.

Результаты экспериментов

Результаты измерений частоты вращения двойного ВК при различных значениях параметров L и α представлены на рис. 4. Величины L и α существенно влияют на установившуюся частоту вращения двойного ВК.

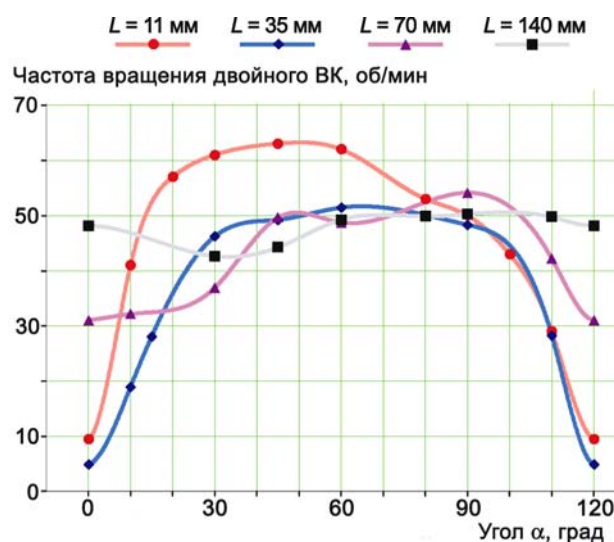


Рис. 4. Зависимость $f(\alpha, L)$ при $L = 11; 35; 70; 140$ мм
Fig. 4. Dependence $f(\alpha, L)$ when $L = 11; 35; 70; 140$ mm

Качественный анализ графиков (рис. 4) позволил установить, что зависимость установившейся частоты вращения двойного ВК от углового смещения ВК выравнивается и стремится к горизонтальному уровню ≈ 49 об/мин при увеличении осевого расстояния между геометрическими центрами ВК до 140 мм. Выравнивание угловой зависимости частоты вращения двойного ВК при увеличении L вызвано затуханием турбулентных завихрений, созданных вращающимся фронтальным ВК, и уменьшением влияния затенения второго ВК фронтальным ВК. Равенство ометаемых площадей одиночного и двойного ВК позволяет сравнить их эффективность. С целью сравнения энергоэффективности двойного ВК с эффективностью одиночного ВК проведен эксперимент с фронтальным ВК при отсутствии второго ВК. Установившаяся частота вращения одиночного ВК равна $\approx 16,8$ об/мин.

Частота вращения двойного ВК при $L = 140$ мм примерно в три раза превосходит частоту вращения одиночного ВК в установившемся режиме. Когда $L = 11$ мм и $\alpha = 45^\circ$, наблюдается четырехкратное отношение частоты вращения двойного ВК к частоте вращения одиночного ВК. Эффективная площадь лопастей двойного ВК превышает эффективную площадь лопастей одиночного ВК не более чем в 2 раза. Высокое экспериментальное отношение частоты вращения двойного ВК к частоте вращения одиночного ВК (при определенных значениях L и α) объясняется действием на ВК аэродинамических и механических сил. Механический тормозящий момент создается подшипниками. Момент трогания двойного ВК незначительно превышает момент трогания одиночного ВК. Аэродинамический вращающий момент и динамический момент сопротивления зависят от частоты вращения ВК.

Заключение

Двойное ВК способно разгоняться до частоты вращения, превышающей в 4 раза частоту вращения однотипного одиночного трехлопастного ВК, при равной средней скорости воздушного потока.

Максимальная частота вращения двойного ВК достигается при $L \rightarrow 0$ и $45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$.

Зависимость установившейся частоты вращения двойного ВК от углового смещения ВК выравнивается при увеличении осевого расстояния между геометрическими центрами ВК.

Список литературы

1. Hansen M.O.L. Aerodynamics of wind turbines, 2nd edition, Earthscan, 2008.
2. Moriarty P.J., Hansen A.C. Aerodyn theory manual // National Renewable Energy Laboratory / TP-500-36881. January, 2005.
3. Burton T., Sharpe D. Wind energy handbook. John Wiley & Sons Ltd, 2001.
4. Ackermann T. Wind power in power systems. John Wiley & Sons Ltd, 2005.
5. Mathew S., Philip G.S. Advances in wind energy conversion technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

