

doi: 10.32620/oikit.2019.83.09

УДК 62-111.2 Д. В. Легошин, Д. В. Полупан, А. С. Чаплина, Т. В. Козаренко

Аэродинамические характеристики роторов ВЭУ горизонтально-осевого типа для автономных систем уличного освещения

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

В данной работе рассмотрены аэродинамические характеристики профилей, применяемых в роторах ВЭУ горизонтально-осевого типа для автономных систем уличного освещения. Для проведения анализа характеристик были выбраны пять базовых аэродинамических профилей различного типа: NACA 0018, CLARK-Y-15, NAVY-N-60, EXPLER 1211, GOE 217. Исходя из результатов анализа выбранных профилей, был выполнен расчет аэродинамических, а также проведен расчет геометрических параметров лопастей роторов ветроэнергоустановок, с последующей их обработкой и анализом полученных расчетных данных при заданных условиях. Эти условия были приняты исходя из детальной обработки и последующего анализа полученных данных по распределению скорости ветрового потока на различных территориях Украины. Учитывая выбранные мощностные характеристики, был проведен анализ различных типов ветроэнергоустановок, впоследствии чего было принято решение использовать ВЭУ горизонтально-осевого типа, так как этот тип обладает наиболее подходящими характеристиками для решения поставленной задачи исследования. При помощи ряда математических преобразований были установлены зависимости коэффициентов подъемной силы и силы сопротивления в зависимости от угла атаки. Необходимо было также произвести изменения углов установки профиля в сечении лопасти с целью улучшить коэффициент преобразования ветрового потока, набегающего на лопасти ветроэнергоустановки. В результате чего были определены и проанализированы расчетные значения диаметров ветротурбин, полученные для каждого имеющегося профиля в отдельности, кроме того, проведен сравнительный анализ основных энергетических характеристик роторов ветроэнергоустановок который наглядно представлен в виде зависимости коэффициента мощности, и коэффициента момента в зависимости от коэффициента быстроходности. В ходе анализа были определены аэродинамические профили, обладающие наилучшими массогабаритными и энергетическими характеристиками, способные максимально эффективно использовать ветровые потоки, которые преобладают на большей части территории Украины.

Ключевые слова: аэродинамический профиль, ротор, ВЭУ горизонтально-осевого типа, расчетная скорость ветра, угол атаки, количество лопастей, угол установки, коэффициент мощности, коэффициент момента, быстроходность ротора, система уличного освещения.

Введение. Сегодня по всему миру идет активное развитие и внедрение автономных систем уличного освещения, использующих возобновляемые источники энергии. Основными источниками энергии в этих системах являются ветроэнергетические и солнечные установки малой мощности. Ввиду ограниченного размера установок, которые должны быть смонтированы непосредственно на столбе уличного осветителя, к ним предъявляются высокие требования по массогабаритным характеристикам, надежности и энергетической отдаче. В данной статье рассмотрены аэродинамические характеристики роторов ВЭУ горизонтально-осевого типа, которые могут быть использованы для построения автономных систем уличного освещения.

Объект исследования

В целях проведения анализа аэродинамических характеристик роторов ветроэнергетических установок были выбраны пять базовых аэродинамических профилей различного типа: NACA 0018, CLARK-Y-15, NAVY-N-60, EXPLER 1211, GOE 217. Внешний вид профилей показан на рис. 1.

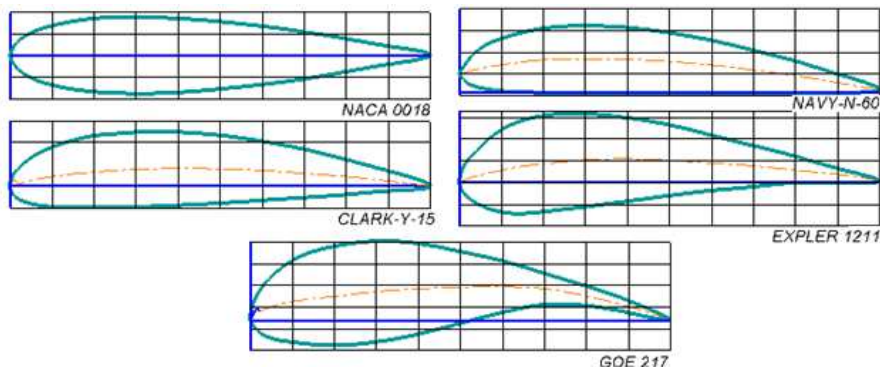


Рис. 1. Аэродинамические профили

Зависимости коэффициентов подъемной силы C_y и силы сопротивления C_x профилей от угла атаки α показаны на рис. 2 и 3.

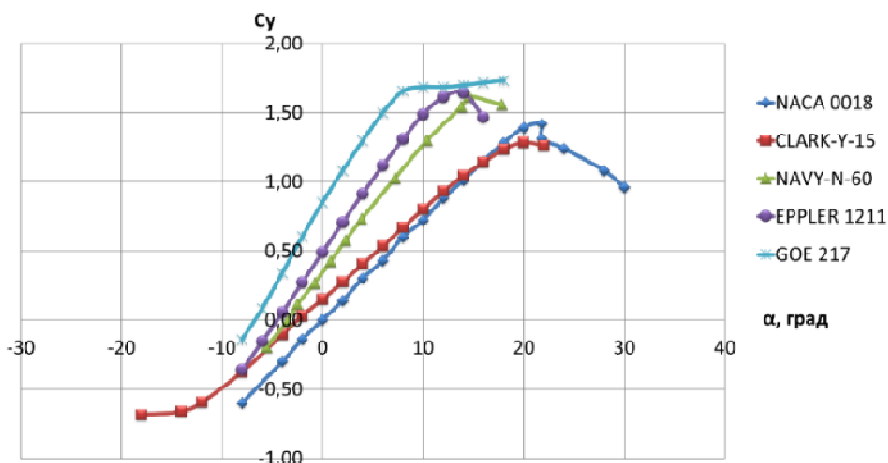


Рис. 2. Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки

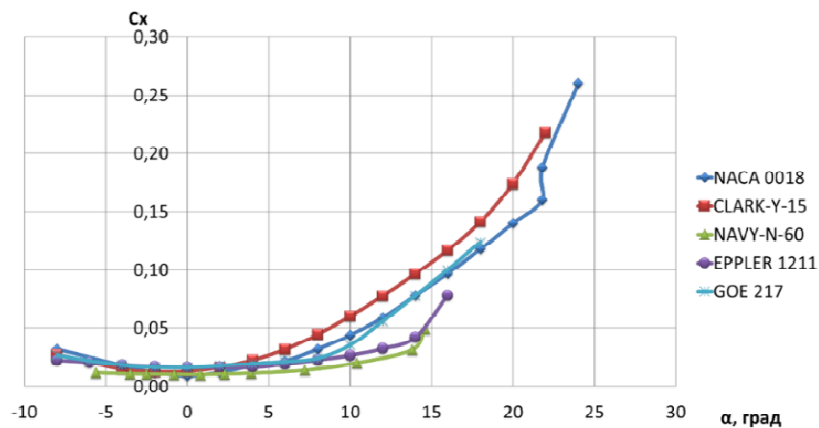


Рис. 3. Зависимость коэффициента силы сопротивления от угла атаки

Как видно из графиков, несимметричные профили EXPLER 1211 и GOE 217 обладают повышенными аэродинамическими характеристиками в области малых углов атаки по сравнению с остальными, т.е. данные профили имеют более высокое аэродинамическое качество.

Расчет аэродинамических и геометрических параметров лопастей роторов ВЭУ

Для проведения расчетов были выбраны следующие условия: ВЭУ горизонтально-осевого типа, номинальная мощность ВЭУ $N = 200$ Вт, расчетная скорость ветра $V = 7,5$ м/с, плотность воздуха $\rho = 1,23$ кг/м³, количество лопастей $I = 3$ шт, расчетная быстроходность ротора $Z = 6,5$.

Расчеты аэродинамических и геометрических параметров лопастей, построенных на базе указанных выше профилей, выполнены с использованием теории элементарных струй.

Изменение угла установки профиля φ в сечении лопасти по относительному радиусу ветротурбины показано на рис. 4.

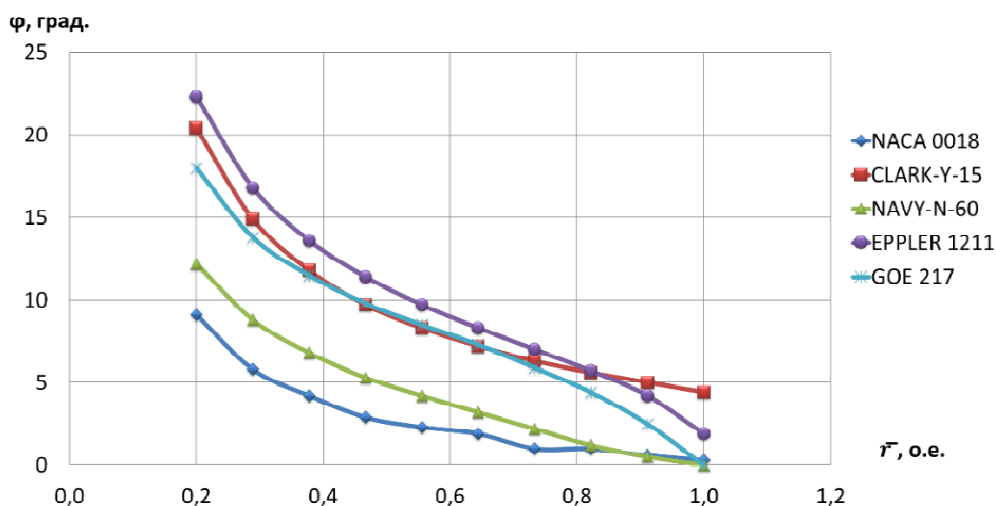


Рис. 4. Изменение угла установки профиля в сечении лопасти

Как видно из графиков, наименьшую крутку имеют лопасти, построенные на базе профилей NACA 0018 и NAVY-N-60, $\Delta\varphi = 9^\circ$ и $\Delta\varphi = 12^\circ$ соответственно. Лопасти на базе профилей с улучшенными аэродинамическими характеристиками (EXPLER 1211 и GOE 217) имеют общую крутку $\Delta\varphi = 20^\circ$ и $\Delta\varphi = 18^\circ$.

На рис. 5 показано распределение относительной хорды профиля в сечениях лопасти по относительному радиусу ротора ВЭУ. Как видно из графиков, наилучшими габаритными, а следовательно, и массовыми характеристиками обладают лопасти, выполненные на базе профилей NAVY-N-60 и GOE 217.

Для расчета диаметра ветротурбины воспользуемся формулой:

$$D_{\text{расч}} = \sqrt{\frac{8 \cdot N}{C_p \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{мех}}}}$$

где $\eta_{эл} = 0,85$ – КПД электрического генератора;
 $\eta_{мех} = 1$ – механический КПД передачи энергии от ветротурбины к генератору (ветротурбина установлена непосредственно на валу генератора).
 Расчетные значения диаметров роторов ВЭУ показаны на рис. 6.

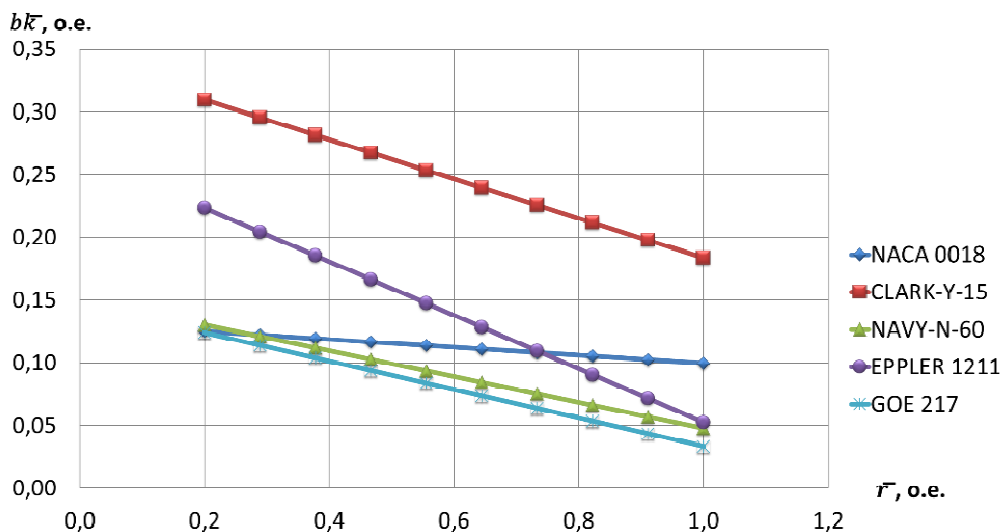


Рис. 5. Распределение относительной хорды профиля лопасти по радиусу ротора

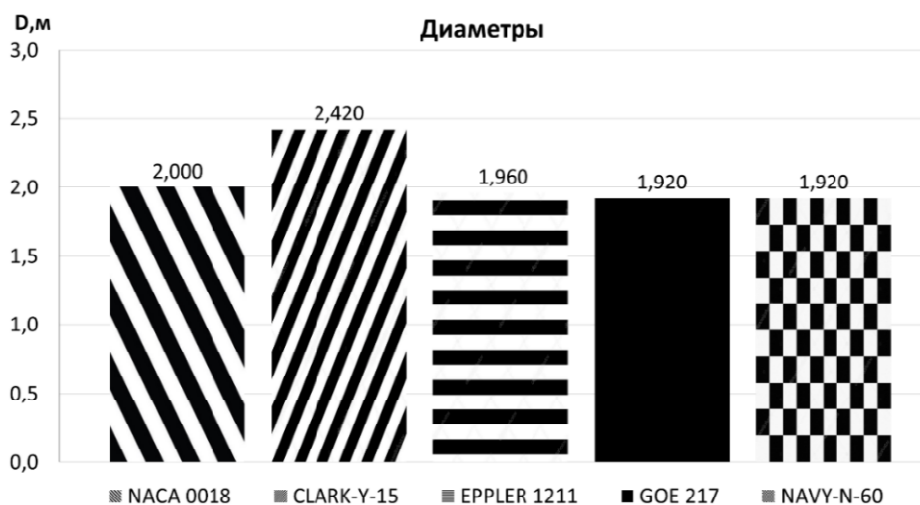


Рис. 6. Расчетные значения диаметров роторов ВЭУ

Из гистограммы видно, что все ВЭУ имеют близкие расчетные значения диаметров ветротурбин, за исключением ВЭУ на базе профиля CLARK-Y-15, диаметр ротора которой отличается более чем на 20%.

Основные энергетические характеристики роторов ВЭУ в виде зависимостей коэффициента мощности C_p и коэффициента момента C_m от коэффициента быстроходности Z , показаны на рис. 7 и 8.

Связь коэффициента момента и коэффициента мощности описывается следующей зависимостью:

$$C_m = \frac{C_p}{Z}$$

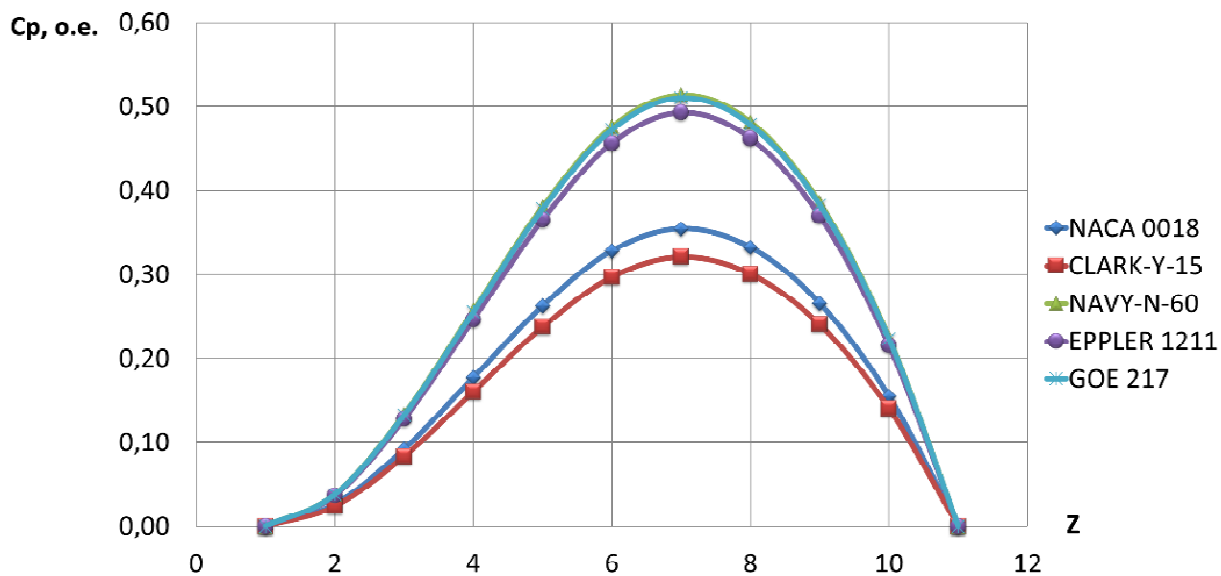


Рис. 7. Зависимость коэффициента мощности от коэффициента быстроходности

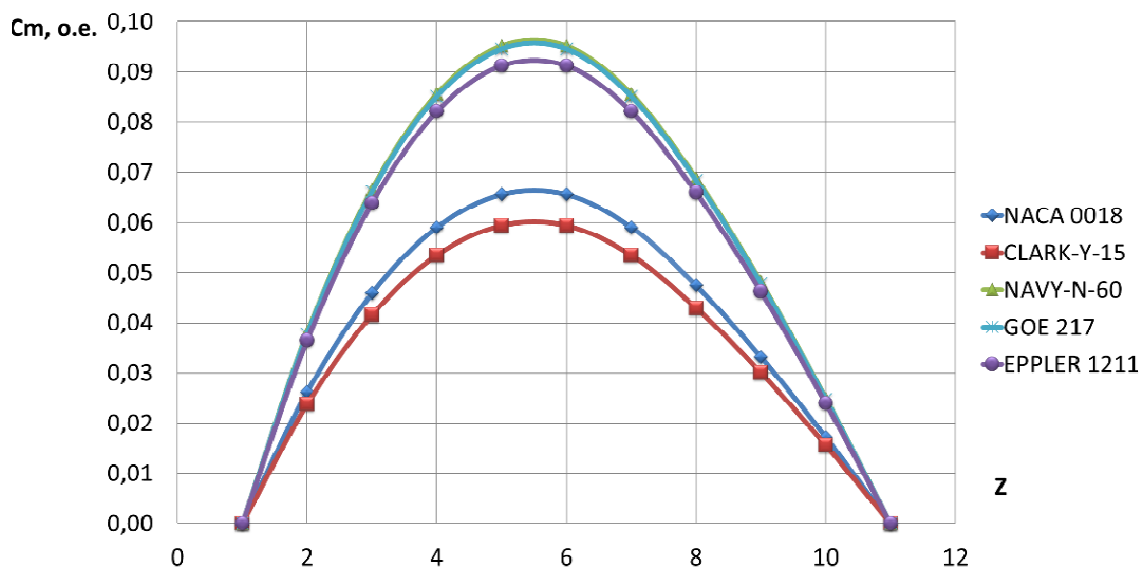


Рис. 8. Зависимость коэффициента момента от коэффициента быстроходности

Как видно из графиков, роторы ВЭУ, построенные на базе профилей NAVY-N-60, EXPLER 1211 и GOE 217, обладают наилучшими энергетическими характеристиками. Значения расчетных коэффициентов использования энергии ветра в рабочих точках характеристик находятся в диапазоне 0,45 ... 0,48.

Вывод

В результате проведенных исследований были получены аэродинамические и геометрические характеристики лопастей роторов ВЭУ, построенных на базе пяти профилей различного типа. Наилучшим образом себя показали несимметричные профили NAVY-N-60 и GOE 217. Лопасты, рассчитанные с использованием этих профилей, обладают наилучшими массогабаритными характеристиками, а ветротурбины – наилучшими энергетическими показателями из числа рассматриваемых.

Список литературы

1. Фатеев, Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев; М.: Сельхозгиз, 1948. – 544 с.
2. Кривцов, В.С. Неисчерпаемая энергия, кн.1 Ветроэлектрогенераторы: Учебник. / В. С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев // – Харьков: Нац. аэрокосм. ун–т, Севастополь: Севаст. нац. техн. ун–т, 2003. – 400 с.
3. Яковлев, А. И. Аэродинамический расчет ветротурбин пропеллерного типа: учеб. пособие по курсовому проектированию/ А. И. Яковлев, М. А. Затучная // – Харьков: Нац. аэрокосм. ун–т, 2001. – 78 с.
4. Яковлев, А. И. Расчет и проектирование ветроэлектрических установок с горизонтально–осевой ветротурбиной и синхронным генератором на постоянных магнитах: учебн. пособие по курсовому проектированию / А. И. Яковлев, М. А. Затучная, В. Н. Меркушев, В. Н. Пашков; – Харьков: Нац. аэрокосм. ун–т, 2003. – 130 с.
5. Характеристики авиационных профилей / под. ред. А. С. Кравец, М.: Оборониздат –1939. – 330 с.
6. Легошин, Д. В. Експериментальне дослідження вітроенергетичної установки з автоматичним згортанням головки / Д. В. Легошин // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 1 (20). – С. 61 – 64.
7. Легошин, Д. В. Построение аэродинамических и энергетических характеристик турбины ветроэнергетической установки горизонтально-осевого типа / Д. В. Легошин, А. И. Яковлев, М. А. Затучная// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. трудов. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т, – 2006. – № 33. – С. 57 – 61.
8. Легошин, Д. В. Влияние распределения хорд по длине лопасти на энергетические характеристики ротора ветроустановки горизонтально-осевого типа / К. Л. Вязовик, Д. В. Легошин, А. И. Яковлев // Возобновляемая энергетика. – 2008. – № 2 (12). – С. 47 – 50.

References

1. Fateev, E.M. Wind turbines and wind turbines / E.M. Fateev; M.: Izd-in Selkhozgiz, 1948. - 544 p.
2. Krivtsov, V.S. Inexhaustible energy, kN.1 Wind power generators: Textbook. / V.S. Krivtsov, A.M. Oleynikov, A.I. Yakovlev // - Kharkov: Nat. aerospace. Un – t, Sevastopol: Sevastop. nat tech. Un – t, 2003. - 400 p.

3. Yakovlev, A. I. Aerodynamic calculation of propeller-type wind turbines: studies. manual for course design / A.I. Yakovlev, M.A. Zatuchnaya // - Kharkov: Nat. aerospace. Un – t, 2001. - 78 p.

4. Yakovlev, A. I. Calculation and design of wind power plants with a horizontal – axial wind turbine and a permanent magnet synchronous generator: textbook. manual for course design / A.I. Yakovlev, M.A. Zatuchnaya, V.N. Merkushev, V.N. Pashkov; - Kharkov: Nat. aerospace. Un – t, 2003. - 130 p.

5. Characteristics of aviation profiles / under. ed. A.S. Kravets, M. .: Oboronizdat –1939. - 330 s.

6. Logoshin, D.V. Experimental dostandzhasya vitroenergetichno ustanovka z avtomaticheskim zgotannym heads / D.V. Legoshin // Vidnovlyuvana energetika. - 2010. - № 1 (20). - p. 61 - 64.

7. Logoshin, D.V. Construction of aerodynamic and energy characteristics of a horizontal-axis wind turbine of a horizontal-axis type power plant / D.V. Legoshin, A.I. Yakovlev, M.A. Zatuchnaya // Open information and computer integrated technologies: collection of papers. scientific works. - Kharkov: Nat. aerospace. Univ., - 2006. - № 33. - pp. 57 - 61.

8. Logoshin, D.V. Influence of the distribution of chords along the length of the blade on the energy characteristics of the rotor of a horizontally axial-type wind turbine / K. L. Vyazovik, D. V. Legoshin, A. I. Yakovlev // Renewable energetics. - 2008. - № 2 (12). - p. 47 - 50.

Поступила в редакцию 01.03.2019, рассмотрена на редколлегии 05.03.2019.

Аеродинамічні характеристики роторів ВЕУ горизонтально-осьового типу для автономних систем вуличного освітлення

У даній роботі розглянуті аеродинамічні характеристики профілів, які застосовуються в роторах ВЕУ горизонтально-осьового типу для автономних систем вуличного освітлення. Для проведення аналізу характеристик були обрані п'ять базових аеродинамічних профілів різного типу: NACA 0018, CLARK-Y-15, NAVY-N-60, EXPLER 1211, GOE 217. Виходячи з результатів аналізу обраних профілів, був виконаний розрахунок аеродинамічних, а також проведено розрахунок геометричних параметрів лопатей роторів вітроенергоустановок з подальшою їх обробкою і аналізом отриманих розрахункових даних при заданих умовах. Ці умови були прийняті виходячи з детальної обробки і подальшого аналізу отриманих даних щодо розподілу швидкості вітрового потоку на різних територіях України. Враховуючи обрані характеристики потужності, був проведений аналіз різних типів вітроенергоустановок, після чого було прийнято рішення використовувати ВЕУ горизонтально-осьового типу, так як цей тип вітроенергоустановок володіє найбільш підходящими характеристиками для вирішення поставленого завдання дослідження. За допомогою ряду математичних перетворень були встановлені залежності коефіцієнтів підйомної сили і сили опору в залежності від кута атаки. Необхідно було також провести зміну кутів установки профілю в перетині лопаті

з метою поліпшити коефіцієнт перетворення вітрового потоку, що набігає на лопаті вітроенергоустановок. В результаті чого були визначені і проаналізовані розрахункові значення діаметрів вітротурбін, отримані для кожного наявного профілю окремо, крім того, проведено порівняльний аналіз основних енергетичних характеристик роторів вітроенергоустановок який наочно представлений у вигляді залежності коефіцієнта потужності, і коефіцієнта моменту в залежності від коефіцієнта швидкохідності. В ході аналізу були визначені аеродинамічні профілі, які мають найкращими масогабаритними та енергетичними характеристиками, здатні максимально ефективно використовувати вітрові потоки, які переважають на більшій частині території України.

Ключові слова: аеродинамічний профіль, ротор, ВЕУ горизонтально-осьового типу, розрахункова швидкість вітру, кут атаки, кількість лопатей, кут установки, коефіцієнт потужності, коефіцієнта моменту, швидкохідні ротора, система вуличного освітлення.

Aerodynamic characteristics of horizontal axial-type wind turbines for autonomous systems of street lighting

In this paper, we consider the aerodynamic characteristics of profiles used in rotors of horizontal-axis wind turbines for autonomous street lighting systems. For the analysis of the characteristics, five basic aerodynamic profiles of various types were selected: NACA 0018, CLARK-Y-15, NAVY-N-60, EXPLER 1211, GOE 217. Based on the analysis of the selected profiles, aerodynamic calculations were made, and also a calculation was made the geometrical parameters of the blades of the rotors of wind power plants with their subsequent processing and analysis obtained design data under specified conditions. These conditions were taken on the basis of detailed processing and subsequent analysis of the data obtained on the distribution of the speed of wind flow in various territories of Ukraine. Taking into account the selected power characteristics, various types of wind power plants were analyzed, after which it was decided to use horizontal axial-type wind turbines, as this type of wind power plants has the most suitable characteristics to solve the research problem. With the help of a number of mathematical transformations, dependences of lift coefficients and resistance force were established depending on the angle of attack. It was also necessary to make changes in the angles of the profile in the section of the blade in order to improve the conversion coefficient of the wind flow incident on the blades of the wind power plant. As a result, the calculated values of wind turbine diameters were obtained and analyzed for each existing profile separately, in addition, a comparative analysis of the main energy characteristics of wind energy rotors was carried out, which is clearly represented as a dependence of the power factor and moment ratio depending on the speed ratio. In the course of the analysis, aerodynamic profiles with the best weight and size and energy characteristics, capable of maximizing the use of wind flows that prevail in most of the territory of Ukraine, were identified.

Keywords: aerodynamic profile, rotor, horizontal axial-type wind turbines, design wind speed, angle of attack, number of blades, installation angle, power factor, torque coefficient, rotor speed, street lighting system.

Сведения об авторах:

Легошин Денис Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры космической техники и нетрадиционных источников энергии, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, legoshin.d@gmail.com. ORCID 0000-0001-5364-8327.

Полупан Дарья Витальевна – студентка кафедры космической техники и нетрадиционных источников энергии, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, darina.vitalyevna26@gmail.com, ORCID 0000-0002-4560-8066.

Чаплина Александр Сергеевич - студент кафедры космической техники и нетрадиционных источников энергии, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, alexandrchaplina1996@gmail.com. ORCID 0000-0001-9172-6832.

Козаренко Таисия Васильевна - студентка кафедры космической техники и нетрадиционных источников энергии, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, kozarenkotaa@gmail.com. ORCID 0000-0001-7494-0124.

About the authors:

Lehoshyn Denis – candidate of technical sciences, associate professor at the department of space engineering and non-conventional energy sources, National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute (KhAI), Kharkiv, Ukraine, legoshin.d@gmail.com. ORCID 0000-0001-5364-8327.

Polupan Daria – student of the department of space technology and non-traditional energy sources, National Aerospace University seat them M.E. Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, darina.vitalyevna26@gmail.com, ORCID 0000-0002-4560-8066.

Chaplina Olexandr – student of the department of space technology and non-traditional energy sources, National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute (KhAI), Kharkiv, Ukraine, alexandrchaplina1996@gmail.com. ORCID 0000-0001-9172-6832.

Kozarenko Taisiia – student of the department of space technology and non-traditional energy sources, National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute (KhAI), Kharkiv, Ukraine, kozarenkotaa@gmail.com. ORCID 0000-0001-7494-0124.