

Рисунок 3 - Графики режима с оптимальным t_1 и включенным фаззи-регулятором

Выводы

Компьютерное моделирование показало, что данная система управления обеспечивает точное воспроизведение заданной скорости, уменьшает динамические нагрузки, позволяет автоматически управлять системой без механического торможения до полной остановки. Данная система является одним из путей модернизации действующих электроприводов, требующих автоматизации управления.

Литература

1. Чермалых А.В., Кузнецов В.В. Фаззи-управление асинхронным электроприводом с тиристорным регулятором тока ротора и задающей моделью // Электротехника, 2003. - №4. - С. 12-17.
2. Гудзь Ю.В., Чермалых А.В. Двухканальная система управления асинхронным электроприводом подъемно-транспортных установок // Изв. вузов. Горн. журнал. - 1983. - №1. - С. 28-33.
3. Дьяконов В. SIMULINK 4: Специальный справочник. - СПб.: Питер, 2002. - 528 с.

References

1. Chermalikh A.V., Kuznetsov V.V. Fuzzy upravlenie asinhronnim elektroprivodom s tiristornim regulyatorom toka rotora i zadashei modeli// elektrotehnika, 2003. - №4. — S. 12-17. Чермалых А.В., Кузнецов В.В.
2. Gudz U.V., Chermalikh A.V. dvuhkanal'nay sistema upravleniya asinhronnim elektroprivodom podiymno-transportnykh ustanovok// Izv.vuzov. Gorn. Jurnal. - 1983. - №1. - S. 28-33.
3. Diakonov V. SIMULINK 4: Specialnii spravochnik. - SPb.: Piter, 2002. - 528 s.

УДК621.548

UDC621.548

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТОРА ДАРЬЕ

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON THE ENERGY CHARACTERISTICS OF THE DARRIEUS ROTOR

Манатбаев Р.К., Сандыбаев Е.Е., Каласов Н.Б., Усманов Б., Елубаева Б.Т., Калиев Б.
Manatbayev R.K., Sandybayev Y.Y., Kalassov N.B., Usmanov B., Yelubayeva B.T., Kaliev B.

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Sandybaev_1990@mail.ru

Резюме

В последние 10-15 лет бурно развивается использование энергии ветра. К настоящему времени в мире установлено более 20000 ветроэлектрических агрегатов, общая мощность которых превышает несколько мегаватт. Казахстан обладает значительными ресурсами ветровой энергии. Наиболее известны в этом плане ресурсы Джунгарских ворот и Шелекского комплекса, находящиеся в Алматинской области. Их возможности для использования в генерации электроэнергии воздушных потоков уникальны.

В данной статье рассмотрены основные виды ветроустановок и выделены преимущества ротора Дарье над другими ветроагрегатами. Приведены основные расчеты для определения влияния конструкторских характеристик ветротурбины Дарье на ее энергоэффективность. Исследованы

зависимость максимального коэффициента использования энергии ветра вертикально-осевых ветроколес от количества лопастей при постоянном коэффициенте заполнения σ , от количества лопастей при постоянной их ширине, от удлинения лопасти λ . Исходя из данных результатов, определены конструкторские характеристики для ротора мощностью 1 кВт, также предоставлена схема ветроагрегата, который может обеспечить тепловую защиту ветротурбины путем использования естественной вентиляции теплого воздуха внутри вращающихся элементов ВЭУ, возникающей вследствие центробежных сил.

Abstract

In the last 10-15 years the use of wind energy is growing. In the world there are more than 20,000 wind power turbines with a total capacity more than a few megawatts. Kazakhstan has significant wind power resources. Resources of the Jungar gate and Sheleksky complex in Almaty region are best known in this respect. Their capabilities for use in electricity generation of air flow are unique.

This article describes the main types of wind turbines and the benefits of Darrieus rotor over other wind turbines. The article provides the basic calculations to determine the effect of the wind turbine Darrieus design characteristics on its energy efficiency. This article shows the dependence of the maximum utilization coefficient of wind energy vertical axis windwheels from the number of blades with constant filling factor σ , from the number of blades with their constant width, from blades elongation λ . Design characteristics for 1 kW rotor were identified based on these results. Also, wind turbine scheme, that can provide thermal protection by warm air natural ventilation in the rotating elements of wind turbine which arises due to centrifugal forces, is shown.

Ключевые слова: Ротор Дарье, вал вращения, ветроустановка, коэффициент заполнения, тепловая защита, идеальный ротор

Keywords: Darrieus rotor, rotation shaft, wind turbine, the fill factor, thermal protection, ideal rotor

Введение

В последние 10-15 лет бурно развивается использование энергии ветра. К настоящему времени в мире установлено более 20000 ветроэлектрических агрегатов, общая мощность которых превышает несколько мегаватт.

Возможность производства электроэнергии определяется конструкцией ветровых турбин. Все ветровые турбины состоят из лопастей, которые вращают ось, соединенную с генератором, который и производит электрический ток.

Размер и мощность ветровых турбин колеблется в широких пределах. Выделяются три основных типа ветровых турбин: с горизонтальной осью, с вертикальной осью и каналные.

В настоящее время в мире в основном используется горизонтально-осевые или так называемые пропеллерные установки. Они составляют более 90% от общего числа ветропарков, а их серийным выпуском занимаются несколько тысяч предприятий.

Вертикально-осевые установки почти 40 лет вообще не разрабатывались, из-за неправильного вывода о малом коэффициенте использования энергии ветра у вертикально-осевых ветроэнергетических установок. И только в конце прошлого века сначала канадскими, а затем американскими и английскими специалистами было экспериментально доказано, что эти выводы неприменимы к роторам Дарье, использующим подъемную силу лопастей [1].

В работах [2,3] установлено, что пропеллерные ветроустановки могут значительно уменьшать вырабатываемую электроэнергию при частой смене направления ветра. При быстром изменении направления ветра, ветроколесо должно четко отслеживать эти изменения, но практически невозможно эффективно ориентировать ветроколесо при изменении направления ветра из-за запаздывания действия механизмов ориентации.

В последнее время большинство зарубежных фирм стало отдавать предпочтение новому типу ветротурбин с вертикальной осью вращения ротора Дарье (см. рис.1). Работает турбина за счет возникновения подъемной силы на рабочих лопастях, равноудаленных от общей оси вращения.

Достоинством вертикально-осевых ветроэнергетических установок является возможность размещения генератора на фундаменте установки. Это позволяет отказаться от мощной, вероятнее всего многоступенчатой, угловой передачи крутящего момента, упростив требования к монтажепригодности оборудования (исключить ограничения по габариту и массе) и к условиям эксплуатации (отсутствие толчков и вибраций). Упрощается передача вырабатываемой электроэнергии.

Работа ротора Дарье не зависит от направления потока. Следовательно, турбина на его основе не требует устройства ориентации. Ротор Дарье характеризуется высоким коэффициентом быстроходности

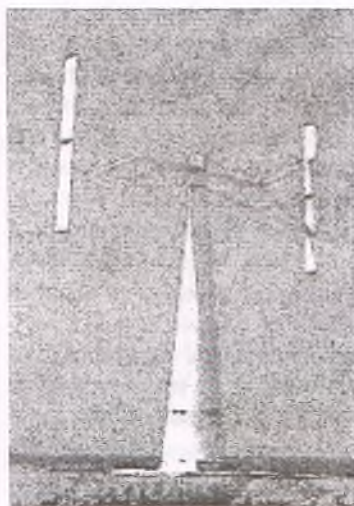


Рис 1. ВЭУ Дарье

при малых скоростях потока и высоким коэффициентом использования энергии потока, а площадь, ометаемая крыльями ротора, может быть достаточно большой.

Наиболее технологичным является Н-ротор Дарье. Установка такого типа является быстроходной, КПД достигает 0,45. Ротор Н-Дарье отличается пониженным уровнем шума и полным отсутствием инфразвука. Ветроэнергетическая установка этого типа имеет простую конструкцию и высокую надежность.

Экспериментальные исследования энергетических характеристик ротора Дарье показали их существенную зависимость от толщины профиля лопасти. Такая же зависимость от толщины профиля наблюдается и для силы тяги, создаваемой машущим крылом [4].

Результаты экспериментальных исследований показывают существенную зависимость коэффициента использования энергии потока от геометрических параметров ветроколеса. В этой связи конструктору важно знать предельные энергетические возможности ветроколеса, которые можно "выжать" из него путем проектирования. Для оценки предельных энергетических возможностей ветроколеса ввели понятие идеального ветроколеса. Под ним понимают некоторое виртуальное ветроколесо, работающее без потерь. Принято считать, что ротор Дарье и ветроколесо пропеллерного типа имеют одинаковые предельные значения коэффициента использования энергии ветрового потока [5]. Однако экспериментальные исследования, проведенные в последнее время [6], показали, что ротор Дарье может иметь более высокие энергетические характеристики, чем ветроколесо пропеллерного типа.

Суровые зимы, столь характерные для стран Скандинавии, создают весьма серьезную проблему - обледенение лопастей. А оно чревато сразу несколькими неприятностями, говорит шведский метеоролог Стефан Сёдерберг (Stefan Söderberg), научный сотрудник компании Weathertech в Упсале: "Когда на лопастях образуется ледяная корка, их аэродинамические характеристики заметно ухудшаются. В результате производительность ветроэнергетической установки падает. Это - во-первых. Во-вторых, лед нарушает балансировку ветроколеса, что приводит к повышенному износу подшипников и ветрогенератора в целом. Мало того, что из-за намерзания переохлажденного дождя или мокрого снега ухудшается аэродинамика лопасти, иногда приходится и вовсе отключать ВЭУ, если толщина слоя льда превышает критическое значение. Такая же ситуация наблюдается и в Финляндии, и на севере Германии, и в Швейцарии и в России. Ну и наконец, нельзя не учитывать опасности, связанные с тем, что куски льда с концов вращающихся лопастей могут срывать и разлетаться на значительные расстояния. Ветрогенераторы в Швеции, например, сообщала о 7 недельных остановках турбины зимой 2002-2003. Шведская статистическая база данных несчастных случаев содержит в общем 1337 подобных записей об остановках, случившихся между 1998 и 2003 - в результате, в общем, простоя 161 523 часа. 92 несчастных случаев (7 процентов) были из-за холодного климата и в результате 8022 часа (5 процентов) потери производства. Сообщенных низкотемпературных простоев в холодном климате было 669 часов (8 процентов), хотя из-за случаев обледенения 7353 (92 процента). Простои, сообщенные из-за обледенения, в Финляндии в период с 1996 по 2001 составляют 1208/ 495/ 196/ 581/ 739 и 4230 часов для 19/ 21/ 29/ 38/ 61 и 61 турбин соответственно [7].

Основная часть

В последние годы, обширные исследования были проведены для выявления и моделирования методов предотвращения от обледенения. Для решения подобной проблемы по всему миру предложены различные методы, разработанные экспертами в среде альтернативной энергетики и воздушно-летающих аппаратов. Большинство из этих методов были взяты из авиационной промышленности и могут быть разделены на две категории: активные и пассивные. Пассивные методы основаны на физических свойствах лопасти для предотвращения накопления льда, в то время как активные методы основаны на внешней системе, применяемой к лопасти. Два типа систем могут быть использованы для предотвращения обледенения - в частности это очистка от обледенения и предотвращение обледенения. Первый удаляет лед с поверхности после его образования, в то время как последний предотвращает начало обледенения [8].

Методы активной защиты для работы требуют энергоснабжения, и включают в себя термическую, химическую и пневматические методы и действуют в качестве систем по очистке льда или анти-льда [9].

Разработка надежного метода защиты работающего ветроагрегата от неблагоприятных метеословий является актуальной. В этой связи в данной работе предлагается разработка ветроагрегата с системой антиобледенения, используя естественную вентиляцию проточных элементов ВЭУ теплым воздухом, не позволяющим налипание мокрых снежинок на поверхности аппарата и образования обледенения [10]. Настоящая работа посвящена разработке способа тепловой защиты работающей ВЭУ и сохранения его рабочей способности при самых тяжелых климатических условиях и в зимнее время.

Поэтому ставится задача - разработать конструкцию ветроагрегата Дарье с тепловой защитой и определить геометрические параметры турбины мощностью 1 кВт для дальнейшей разработки полупромышленного образца ветроэлектрической установки (ВЭУ) типа Н-ротор, имеющую систему антиобледенения.

При проектировании ВЭУ проектировщику необходимо знать, влияние основных параметров на производительность ротора. В настоящее время главным источником информации при проектировании ветроколес с ротором Дарье является эксперимент. Наиболее полные и всесторонние экспериментальные результаты опубликованы в работах [2,11].

Для выполнения основных заданий календарного плана по проекту 0780-ГФ4, потребовалось разработать конструкцию ВЭУ с системой антиобледенения. Поэтому были проведены исследования по определению геометрических параметров турбины. Таким образом, проделаны расчеты влияния параметров конструкции на энергетические характеристики ротора Дарье.

1) *Влияние удлинения лопасти.* Удлинение лопасти является одним из главных параметров конструкции ротора Дарье, определяющее его аэродинамические характеристики. От величины удлинения существенно зависит уровень аэродинамических нагрузок на лопасть, включая крутящий момент. Для одиночной лопасти характер этой зависимости практически тот же, что и для крыла. При удлинениях $\lambda < 1$ величина аэродинамических нагрузок меняется по линейному закону от λ , а с увеличением удлинения эти нагрузки приближаются к своим асимптотическим значениям при $\lambda > 5$.

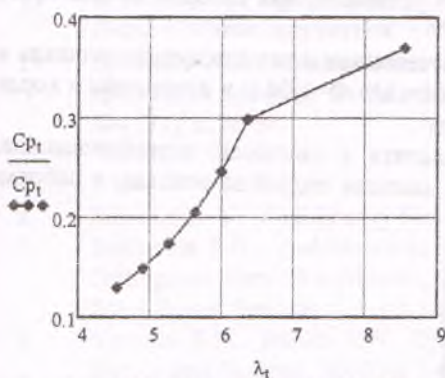


Рис. 3. Зависимость C_{p1} от удлинения лопастей ($n=2$, $b/D=0.167$, $R=1.65$ м, $L=$ перем.)

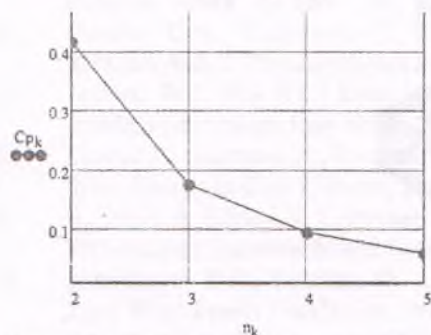


Рис. 4. Зависимость C_{p1} от количества

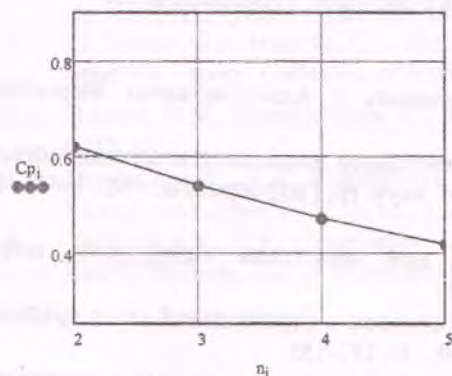


Рис. 5. Зависимость C_{p1} от количества лопастей при постоянной их ширине ($b=const$, $D=3.3$ м, $l=3.3$ м)

Из рис.3 следует необходимость использования лопастей с удлинением больше 6 для обеспечения приемлемого коэффициента использования энергии ветра.

2) *Влияние числа лопастей.* Другим важным параметром конструкции является число лопастей ротора Дарье. Для оценки влияния числа лопастей на энергетические характеристики ротора проводят специальные исследования на моделях ротора с разным числом лопастей.

Эксперимент показывает, что наиболее высокие энергетические характеристики имеет однолопастной ротор. Но в этом случае крутящий момент испытывает большие пульсации по времени, что порождает букет динамических проблем. Увеличение числа лопастей сглаживает моментную характеристику ротора, но приводит к снижению его энергетической эффективности [11]. Особенно сильно это проявляется, если при увеличении числа лопастей уменьшать их хорду для сохранения постоянства коэффициента заполнения σ . Более эффективным при увеличении числа лопастей оказывается сохранение длины хорды.

На рис. 4 приведены результаты расчетов по исследованию влияния количества лопастей при постоянном коэффициенте заполнения. Видно, что с ростом числа лопастей коэффициент использования энергии ветра уменьшается.

Рис.5 показывает, что при неизменной ширине лопастей эффективность C_p падает менее значительно, чем при постоянном заполнении с ростом числа лопастей.

3) *Влияние толщины лопасти.* Влияние относительной толщины профиля лопасти на величину максимального значения коэффициента C_p при разных числах Re показано на [12]. Наибольший эффект достигается для лопастей с относительной толщиной $0.15 < \zeta < 0.20$. Главная особенность этого влияния связана с резким падением C_p для тонких лопастей. Следует отметить, что такой же характер зависимости от относительной толщины профиля наблюдается для силы тяги, создаваемой машущим крылом [4].

4) *Влияние коэффициента заполнения.* Коэффициент заполнения связан с двумя параметрами конструкции ротора: числом лопастей n_k и отношением хорды лопасти к диаметру ротора b/D . Следует отметить, что с увеличением коэффициента заполнения σ уменьшается значение быстроходности z , при котором C_p достигает своего максимума.

Выводы

Проанализировав все полученные данные указанные выше, определены геометрия крылового профиля NASA-

0021.

Для того, чтобы иметь ротор Дарье с прямыми лопастями мощностью 1 кВт, при средней скорости ветра U , равной 7 м/с, найдем обтекаемую поверхность ротора по формуле:

$$S = \frac{2P}{C_p \rho U^3}$$

где P - мощность, Вт; C_p - коэффициент использования энергии ветра, принят равным 0,4;

$\rho - 1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха.

Обтекаемая площадь ротора мощностью 1кВт должна составлять $11,3 \text{ м}^2$. Если принять равными диаметр ротора D и высоту лопасти l , то $D \approx 3,36 \text{ м}$. При экспериментально обоснованном удлинении лопасти $\lambda = l/b = 6-8$ длина хорды лопасти может составлять $b = 3,36/(6-8) = 0,56-0,42 \text{ м}$, а хорда в среднем будет $b = 0,55 \text{ м}$.

Так как максимальное значение коэффициента C_p при разных числах Re достигается для лопастей с относительной толщиной $0,15 < \bar{c} < 0,20$, возьмем относительную толщину равной $0,18$. Исходя из этого, максимальная толщина лопасти, как доля длины от хорды должна составлять $0,09 \text{ м}$. А коэффициент заполнения в свою очередь будет равен

$$\sigma = \frac{nb^2}{D} = 0,33.$$

Важно заметить, что коэффициент заполнения σ удовлетворяет условиям, при котором C_p достигает своего максимума.

С использованием прикладных пакетов для математических расчетов мы можем получить площадь и периметр поперечного сечения. Для нашего ротора периметр крыла составил $\Phi = 1,04 \text{ м}$ и отношение к хорде b приблизительно равно $2,1$. Площадь поперечного сечения $f_1 = 0,0154 \text{ м}^2$.

На рисунке 6 приведена предварительная конструкция аппарата с системой антиобледенение. Внутренняя гидравлика и движения теплого воздуха по внутренним каналам подробно описаны в работах [10,13,14].

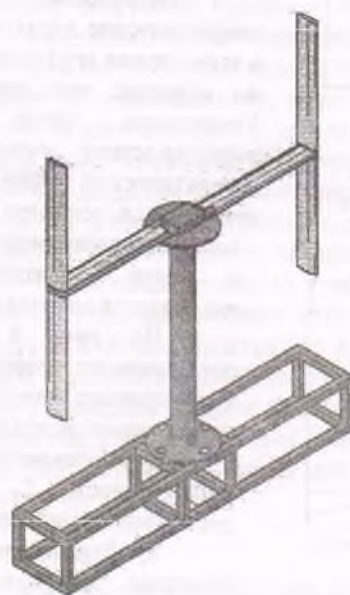


Рис. 6. Предварительная конструкция аппарата с системой антиобледенение

Литература

1. Соломин Е.В. Ветроэнергетические установки ГРЦ-Вертикаль // Альтернативная энергетика и экология, 2010 № 1. С. 10-15
2. Баклушин П.Г., Вашкевич К.П., Самсонов В.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес // Сб. науч. тр. Гидропроекта. - М., 1988. - Вып. 129: Ветроэнергетические станции. - С. 98-105.
3. Воронин С.М., Бабина Л.В. Работа ветроустановки при изменении направления ветра // Альтернативная энергетика и экология, 2010 № 1. С. 98-100
4. Горелов Д.Н. Аналогия между машущим крылом и ветроколесом с вертикальной осью вращения // Прикладная механика и техническая физика. - 2009. - Т. 50. - С. 152-155
5. Турян К. Дж., Стрикленд Дж., Бэрг Д.Э. Мощность ветроэнергетических агрегатов с вертикальной осью вращения // Аэрокосмическая техника. - 1988. - С. 100-115.
6. Горелов Д.Н., Кузьменко Ю.Н. Экспериментальная оценка предельной мощности ветроколеса с вертикальной осью вращения // Теплофизика и аэромеханика. - 2001. - Т. 8. - С. 329-334.
7. Jasinski W.J., Noe S.C., Selig M.C., Bragg M.B. Wind Turbine Performance under Icing Conditions. Trans ASME J Sol Energy Eng 1998;120:60-5.
8. Laakso T., Holttinen H., Ronsten G., Tallhaug L., Horbaty R., Baring-Gould I., et al. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climate; 2003. p. 1-56.
9. N. Dalili, A. Edrissy, R. Cariveau. A Review of Surface Engineering Issues Critical to Wind Turbine Performance. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13; 2009. p. 428-238.

10. Manatbayev R.K., Yershina Sh. A., Yershina A.K. Method for Thermally Protecting Operating Revolving Type Wind-Power Installation, Involves Causing Internal Natural Ventilation in Wind Unit by Centrifugal Force to Heat All Elements of Wind-Power Installation by Warm Air. Patent Number(s): RU2008137251-A; RU2447318-C2 International Patent Classification: F03D-003/00 Derwent Class Code(s): Q54 (Starting, ignition); X15 (Non-Fossil Fuel Power Generating Systems) Derwent Manual Code(s): X15-B01A6
11. Иванов И.И., Иванова Г.А., Перфилов О.Л. Модельные исследования роторных рабочих колес ветроэнергетических станций // Сб. науч. тр. Гидропроекта. - М., 1988. - Вып. 129: Ветроэнергетические станции. - С. 106-113.
12. Горелов Д.Н. Аэродинамика ветроколес с вертикальной осью вращения // Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. - 68 стр.
13. Ершина А.К., Манатбаев Р.К. Организация естественной вентиляции внутри работающего аппарата Дарье // Малая энергетика. - Москва, 2013. №1-2, С.-63-66.
14. Ершина А.К., Манатбаев Р.К. Определение гидравлического сопротивления симметричного крылового профиля NASA -0021 Вестник КазНУ, серия математика, механика, информатика, 2006 г. №4 (51), С.56-58.

References

1. Solomin E. V. Wind Energy Plants GRTS-Vertical // Alternative Energy and Ecology, 2010 № 1. p. 10-15
2. Baklushin P.G., Vashkevich K.P., Samsonov V.V., Experimental Study of Aerodynamic Characteristics of Orthogonal Vane Windwheels // Scientific Papers' Collection of Hydroproject. -M., 1988. - Edition 129: Wind Power Stations. - p. 98-105.
3. Voronin S.M., Babina L.V. Operation of Wind Turbine during Changing Wind Direction // Alternative Energy and Ecology, 2010 № 1.p. 98-100
4. Gorelov D.N. The Analogy between the Flapping Wings And the Windwheel with Vertical Rotation Axis // Applied Mechanics and Technical Physics. - 2009. - V. 50. - p. 152-155
5. Turyan K. J., Strikland J., Barg D.E. Capacity of Wind Power Units with Vertical Rotation Axis // Aerospace technics. - 1988. - p. 100-115 .
6. Gorelov D.N., Kuzmenko U. N. Experimental Evaluation of Windwheel Critical Power with Vertical Rotation Axis // Thermophysics and Aeromechanics. - 2001. - V. 8. - p. 329-334.
7. Jasinski W.J., Noe S.C., Selig M.C., Bragg M.B. Wind Turbine Performance under Icing Conditions. Trans ASME J Sol Energy Eng 1998;120:60-5.
8. Laakso T., Holttinen H., Ronsten G., Tallhaug L., Horbaty R., Baring-Gould L, et al. State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climate; 2003. p. 1-56.
9. N. Dalili, A. Edrissy, R. Carriveau. A Review of Surface Engineering Issues Critical to Wind Turbine Performance. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13; 2009. p. 428-238.
10. Manatbayev R.K., Yershina Sh. A., Yershina A.K. Method for Thermally Protecting Operating Revolving Type Wind-Power Installation, Involves Causing Internal Natural Ventilation in Wind Unit by Centrifugal Force to Heat All Elements of Wind-Power Installation by Warm Air. Patent Number(s): RU2008137251-A; RU2447318-C2 International Patent Classification: F03D-003/00 Derwent Class Code(s): Q54 (Starting, ignition); X15 (Non-Fossil Fuel Power Generating Systems) Derwent Manual Code(s): X15-B01A6
11. I.I. Ivanov, G.A. Ivanova, O.L. Perfilov. Model Studies of Wind Stations' Rotary Operation Wheels. Scientific Papers' Collection of Hydroproject. -M., 1988. - Edition 129: Wind Power Stations. - p. 106-113.
12. Gorelov D.N. Aerodynamics Of Windwheels with vertical rotation axis // Омск: Printing center KAN, 2012. 68 p.
13. Yershina A.K., R.K. Manatbayev. Organization of natural ventilation inside operating unit Darrieus // Energy. - Moscow, 2013. №1-2, p.-63-66.
14. Yershina A.K., R.K. Manatbayev. Determination of hydraulic resistance of a symmetric airfoil NASA -0021. KazNU Bulletin, Part of Mathematics, Mechanics, Informatics, 2006. №4 (51), p.56-58.