

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/SMUR2431>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/JFEI7882>

***М. Б. Кошумбаев¹, С. С. Исенов², Г. С. Нурмаганбетова³,
Р. М. Искаков⁴, М. А. Ауельбек⁵**

^{1,2,3,4,5}Казахский агротехнический исследовательский университет имени
С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

*e-mail: marat7759@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ

В статье рассмотрена ветровая турбина с вертикальной осью вращения. Актуальностью исследования заключается в разработке нового типа возобновляемого источника энергии – вихревого ветрового устройства с вертикальной осью вращения без механизмов наведения на ветер.

Объектом исследования является вихревое ветровое устройство, состоящее из концентратора с криволинейными каналами, концентрирующее поток на лопасти ветроколеса и создающее вихревое движение, которое усиливается тягой вертикальной трубы.

Проведен обзор литературных источников, выявлены основные проблемы действующих ветровых станции с горизонтальной осью вращения, которые включают: необходимость постоянного наведения на ветер, консольное напряжение на месте крепления лопастей, неравномерное вращение ветроколеса. Вихревое ветровое устройство с вертикальной осью вращения позволяет устранить механизмы наведения на ветер, консольное напряжение лопастей, обеспечивает равномерное вращение ветроколеса. Ветроустройство имеет концентратор с криволинейными каналами, концентрирующие поток на лопасти ветроколеса и создающие вихревое движение, которое усиливается тягой вертикальной трубы. Особенностью разработки является создаваемое устойчивое вихревое движение внутри концентратора, обеспечивающее равномерное и устойчивое вращательное движение ветрового колеса при нестабильном ветровом потоке. На основании математического моделирования и экспериментальных исследований

были разработаны экспериментальная модель и полупромышленная установка. Поскольку на рынке наблюдается большой интерес к возобновляемым источникам энергии, срочно необходимы надлежащие научно-технические исследования, чтобы выяснить эффективность и безопасность новых разработок, в том числе и в области ветроэнергетики.

Ключевые слова: ветер, турбина, вращение, лопасти, колесо.

Введение

На сегодняшний день для Казахстана важным направлением возобновляемой энергии являются ветровые турбины. Широкое применение нашли трехлопастные ветровые станции с горизонтальной осью вращения, которые были разработаны в начале прошлого века. Несмотря на их широкое распространение они имеют ограничение по направлению и величине скорости ветра. Отрицательно на работу данных турбин влияют осадки и низкая температура, что являются причинами аварий на ветровых станциях из-за шквальных порывов ветра, снегопадов и пожаров, связанных с молниями. Турбулентный характер ветрового потока создает неравномерное вращение ветрового колеса и нестабильную выработку энергии. В связи с этим требуется дополнительное оборудование для накопления энергии, чтобы станция могла выдавать энергию с постоянными характеристиками. Низкая эффективность работы и дополнительные расходы на вспомогательное оборудование повышают себестоимость станции. Для повышения эффективности работы ветровых станций проводятся исследования по различным направлениям. В основном они связаны с ветротурбина с вертикальной осью вращения. С целью повышения эффективности были использованы направляющие стенки для наведения ветра на лопасти, что в последствии это дало возможность создать вихревое движение. Исследования по стабилизации работы станции за счет устойчивого вращательного движения и разработка вихревого ветрового устройства являются актуальными.

В настоящее время использование возобновляемых источников энергии широкое развитие получило в Европе, США, Японии и др. В тоже время практически во всех континентах строятся ветропарки большой мощности. Одним из ярких примеров является КНР.

Несмотря на широкое распространение ВЭС с горизонтальной осью вращения, имеются новые разработки с вертикальной осью. Компания Helix Wind Corporation разработала ветроэлектростанцию для питания базовых станций сотовой связи, которые рассчитаны на малую мощность и не могут применяться для промышленного применения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Ветрогенераторы Helix Wind Corporation

Развитием данного направления является разработка концентратора в Технологическом Институте Джорджии (Атланта, США) вихревое ветроустройство Solar Vortex (рисунок 2). Неудачное размещение ветроколеса поперек ветрового потока создает дополнительное сопротивление и снижает эффективность конструкции.

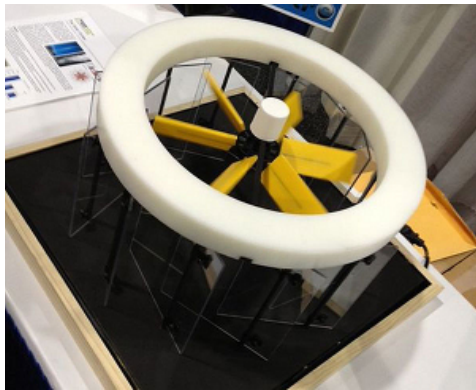


Рисунок 2 – Ветроустановка Solar Vortex

Компания Simpson – разработчик Solar Vortex, протестировала модель данной конструкции (рисунок 3 а) и выяснила, что при увеличении диаметра турбины, выход энергии резко возрастает. Причина роста энергии не поясняется [1], также не рассматривается роль подъемной силы.

В вихревой ветроэнергетической установке используется низкопотенциальные воздушные потоки, преобразующиеся в вертикальные вихреобразные потоки (рисунок 3 б). Устройство позволяет расширить рабочий диапазон скоростей ветра от 3 м/с до 60 м/с и более, но поперечное расположение ветроколеса создает сопротивление, приводящее неэффективному использованию вихревой энергии потока.

Анализ различных типов конструкции ветровых турбин показывает, что основными барьерами в развитии ветроэнергетики являются: постоянное наведение на ветер, высокое сопротивление ветроколеса, консольное напряжение лопастей, вибрация лопастей и шумовые помехи, высокая аварийность [1].

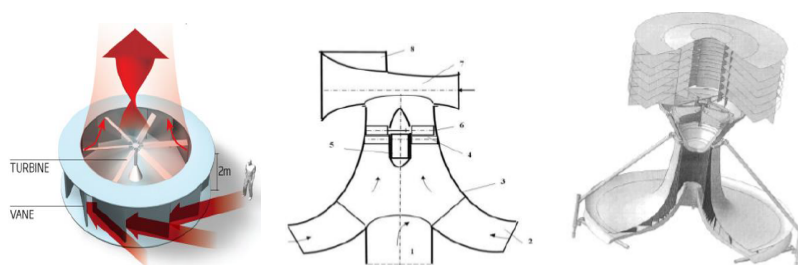


Рисунок 3 – Образование вихревого движения в цилиндрической турбине (а) и вихревая ветроэнергетическая установка (б)

Для повышения эффективности ветровой турбины целесообразно провести исследование на повышение эффективности работы вихревого ветрового устройства, которое будет включать концентратор для создания вихревого движения и концентрации потока на лопасти ветроколеса, ветроколесо с низким сопротивлением и вертикальную трубу для улучшения пропускной способности устройства и усиления движения потока за счет вертикальной тяги [2]. Указанные трудности в работах [1–2] решаются применением вихревого эффекта и концентрации потока при непосредственной его подачи на лопасти ветроколеса, создания устойчивого вихревого движения внутри концентратора и вытяжкой потока посредством вертикальной труба, устанавливаемой на концентраторе.

Математическое моделирование вихревого движения ветрового потока в концентраторе пока не имеет четкого расчетного алгоритма. Сложности для определения начальных и граничных условий указаны в работе [3]. Вычислительные эксперименты показали, что распределение скоростей в концентраторе зависит не только от напора скоростного потока, но и геометрических размеров концентратора и конфигурации ветрового колеса.

Материалы и методы

В процессе выполнения исследований применялись методы теории численных методов, экспериментальные исследования на лабораторных моделях (рисунок 4). Среди известных методов численного моделирования трехмерных турбулентных течений необходимо выделить прямое численное моделирование турбулентности и решение осредненных уравнений Навье-Стокса [4–6]. Одной из основных проблем является построение расчетной сетки, которая хорошо учитывает геометрические и физические особенности. Метод моделирования крупных вихрей представляет собой симбиоз между прямым численным моделированием и решением осредненных уравнений Навье-Стокса.



Рисунок 4 – Экспериментальная модель вихревой ветроустановки

Решение указанных уравнений сопровождается приближенными численными методами с использованием схемы расщепления по физическим параметрам. Как показывает опыт, точность итерационных операций зависит размеров сетки, т.е. от значения шагов по времени и пространству. Анализ существующих методик показывает, что математическое описание турбулентных течений, связанное с обтеканием сложных фигур, к которым также относится вихревая ветровая установка с концентратором воздушного потока, возможно с использованием осредненных уравнений Навье-Стокса с применением метода крупных вихрей [7–10].

Используемый численный метод представляет собой достаточно гибкое математическое обеспечение, которое позволяет адаптировать результаты

расчета к экспериментальным данным, изменяя параметры в уравнениях вышеуказанных систем. Алгоритм решения задачи содержит подпрограмму, основанная на методе прогонки. Данная программа была использована при исследовании различных вихревых устройств.

Результаты и обсуждение

Концентратор состоит из криволинейных каналов, которые концентрируют поток воздуха на лопасти ветроколеса и создают устойчивое вихревое движение в концентраторе.

Для максимальной передачи энергии вихревого течения криволинейные каналы тангенциально направлены от периферии к вертикальной вытяжной трубе и лопастям ветроколеса таким образом, что выходное отверстие каналов профилируется на лопастях, что максимально повышает воздействие потока на ветроколесо.

Для эффективного удаления отработанного потока сверху концентратора устанавливается вертикальная труба, которая повышает скорость движения вихревого потока за счет вертикальной тяги. Увеличение скорости потока в трубе повышает пропускную способность вихревого ветрового устройства.

Вычислительные эксперименты предполагались при нестационарном движении ветрового потока, который входит в криволинейный канал концентратора, получает закрутку и набегает на лопасти ветроколеса. Пренебрегаем изменениями температуры и плотности воздуха. Несмотря на не постоянный ветровой поток, расчет проводился при постоянном значении скорости – 5 м/с, число Рейнольдса предполагалось как $Re = 10000$, для упрощения расчетной схемы начальное поле скорости задавалось по всей плоскости входного отверстия канала концентратора.

Результаты расчетов показали неравномерное распределение скорости в криволинейном канале концентратора. На рисунке 5 представлено изменение контура скорости воздушного потока вдоль стенки канала концентратора в момент стабилизации течения. Согласно исследованиям, течение в канале стабилизируется при достижении $t = 0,038$ с и в дальнейшем картина течения не меняется. Концентрация потока вызывает его турбулизацию на твердой поверхности и повышение величины скорости на выходе из канала концентратора.

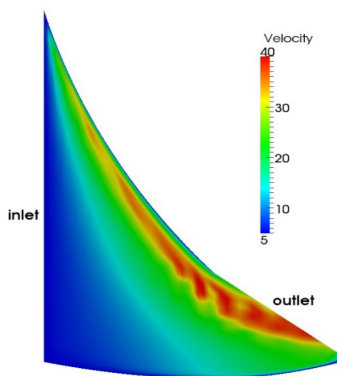


Рисунок 6 – Профиль скорости в канале концентратора при скорости набегающего потока 5 м/с и времени $t = 0,038$ с.

Программа использовала параметры потока на выходе из каналов концентратора для определения профиля скорости внутри концентратора.

Расчеты при подаче воздуха в два канала концентратора показывает увеличение скорости воздушного потока на выходе в 10–12 раз, чем при подводе воздуха через один канал. Поток становится стационарным через 20 сек. Предполагается, что начальное поле скорости равномерное и строго одного направления. Попадая в каналы концентратора, воздушный поток направлялся по касательной к внутренней поверхности концентратора. Это обеспечивает вихревое движение воздуха внутри концентратора. Устойчивое вращательное движение создает благоприятный режим для работы ветроколеса.

Численное моделирование движения потока воздуха в ветротурбине показало эффективность применения концентраторов в ветровых устройствах. Численный эксперимент позволяет определить технологически простые и дешёвые варианты конструкций концентраторов, а также повысить эффективность ветроэнергетики за счет снижения материалоемкости конструкции.

Информация о финансировании

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP14872147, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1 Применение концентратора с криволинейными каналами полностью исключает механизмы наведения на ветер. Концентратор позволяет увеличить скорость ветрового потока в 1,5 раза. Внутри концентратора создается вихревое движение, которое равномерно действует на все лопасти ветроколеса одновременно.

2 Благодаря криволинейным каналам концентратора внутри него создается устойчивое вращательное течение, которое одновременно создает положительное давление на поверхностях криволинейных лопастей и не влияет на обратные их стороны, тем самым создается оптимальный режим воздействия ветрового потока на лопасти ветроколеса.

3 Для повышения пропускной способности вихревого ветрового устройства сверху концентратора устанавливается вертикальная труба, которая создает дополнительную тягу и увеличивает скорость отработанного потока. Внешний поток воздуха, попадая в криволинейные каналы концентратора, увеличивает скорость и тангенциально входит внутрь концентратора. Внутри концентратора образуется устойчивое вихревое движение, которое равномерно действует на все лопасти ветроколеса. Закрученный поток удаляется из концентратора через вертикальную трубу за счет вертикальной тяги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Бубенчиков, А. А.** Экологическая экспертиза ветроэнергетической установки [Текст] // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2 (132.2). – С. 31–35.

2 **Кошумбаев, М. Б., Мырзакулов, Б. К., Кошумбаев, А. М., Кошумбаева, А. М.** Вихревой ветроагрегат. Патент Казахстана № 2291. Полезная модель. Бюл. № 14 от 31.07.2017.

3 **Koshumbayev, M., Yerzhan A., Myrzakulov B., Kvasov P.** Theoretical and experimental research on development of new construction of wind-driven generator with flux concentrator [Text] : // Journal of Advances in Technology and Engineering Research. – 2016. – № 2 (3). – P. 100–104.

4 **Koshumbaev, M., Issenov, S., Iskakov, R., Bulatbayeva, Y.** Development of a vortex wind device. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [Text]: Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – №1(8(121)). – P. 22–29.

5 **Ershkov, S. V.** On Existence of General Solution of the Navier – Stokes Equations for 3D Non-Stationary Incompressible Flow [Text]: // International Journal of Fluid Mechanics Research. – 2015. – P. 206–213.

6 **Schneiders, J. F. G.** Time-Supersampling 3D-PIV Measurements by Vortex-in-Cell Simulation [Text] : Master of Science Thesis : Aerospace Engineering Delft University of Technology. 2014. – 112 p.

7 **Chemin, J. Y., Gallagher I., Paicu M.** Global regularity for some classes of large solutions to the Navier-Stokes equations [Text] // Ann. of Math. 173 (2011. – No. 2. 2011. – P. 983–1012.

8 **Zhang, Y., Bao, W., Du Q.** Numerical simulation of vortex dynamics in Ginzburg-Landau-Schrodinger equation [Text] Jnl of Applied Mathematics. – 2007, Vol. 18. – P. 607-630.

9 **Eldredge, J. D.** Numerical simulation of the fluid dynamics of 2D rigid body motion with the vortex particle method [Text]: // J. Comput. Physics. – 2007. Vol. 221. – P. 626–648.

10 **Turalina, D. E. Bolysbek D. A.,** Research with purpose of finding optimal variant of the guide blades of the vortex wind power [Text] : // First International Scientific Conference : Alternative energy sources, materials and technologies (AESMT-18). – 2018. – P. 38.

REFERENCES

1 **Bubenchikov, A. A.** Ekologicheskaya ekspertiza vetroenergeticheskoy ustanovki [Environmental expertise of a wind power plant] [Text] // A young scientist. – 2016. – № 28.2 (132.2). – P. 31–35.

2 **Koshumbaev, M. B., Myrzakulov, B. K., Koshumbaev, A. M., Koshumbaeva, A. M.** Vihrevoj vetroagregat [Vortex wind turbine]. Patent of Kazakhstan №2291. Utility model. Byul. № 14 dated 31.07.2017.

3 **Koshumbayev M., Yerzhan A., Myrzakulov B., Kvasov P.** Theoretical and experimental research on development of new construction of wind-driven generator with flux concentrator [Text]: // Journal of Advances in Technology and Engineering Research. – 2016. № 2 (3), P. 100–104.

4 **Koshumbaev, M., Issenov, S., Iskakov, R., Bulatbayeva, Y.** Development of a vortex wind device. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [Text]: Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. № 1 (8) (121). – P. 22–29.

5 **Ershkov S. V.** On Existence of General Solution of the Navier – Stokes Equations for 3D Non-Stationary Incompressible Flow [Text]: International Journal of Fluid Mechanics Research. – 2015. – P. 206–213.

6 **Schneiders J. F. G.** Time-Supersampling 3D-PIV Measurements by Vortex-in-Cell Simulation. [Text]: Master of Science Thesis : Aerospace Engineering Delft University of Technology. 2014. – 112 p.

7 **Chemin J. Y., Gallagher I., Paicu M.** Global regularity for some classes of large solutions to the Navier-Stokes equations [Text] // Ann. of Math. 173 (2011), no. 2. 2011. – P. 983-1012.

8 **Zhang Y., Bao W., Du Q.** Numerical simulation of vortex dynamics in Ginzburg-Landau-Schrodinger equation [Text] Jnl of Applied Mathematics. – 2007, vol. 18. – P. 607-630.

9 **Eldredge J. D.** Numerical simulation of the fluid dynamics of 2D rigid body motion with the vortex particle method [Text]: J. Comput. Physics. – 2007, vol. 221. – P. 626-648.

10 **D. E. Turalina., D. A. Bolysbek.** Research with purpose of finding optimal variant of the guide blades of the vortex wind power [Text] : First International Scientific Conference: Alternative energy sources, materials and technologies (AESMT-18). – 2018. – P. 38.

Принято к изданию 28.11.23.

*М. Б. Кошумбаев¹, С. С. Исенов²,

Г. С. Нурмаганбетова³, Р. М. Искаков⁴, М. А. Ауельбек⁵

^{1,2,3,4,5}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Басып шығаруға 28.11.23 қабылданды.

ЖЕЛ ТУРБИНАСЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ҚҰЙЫНДЫ ӘСЕРДІ ҚОЛДАНУ

Мақалада вертикальді айналу осі бар жел турбины қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі жаңартылатын энергияның жаңа түрін – желге бағыттау механизмдері жоқ вертикальді айналу осі бар құйынды жел құрылысын жасау болып табылады.

Зерттеу объектісі – қисық сызықты арналары бар концентратордан тұратын, жел дөңгелегі қалақтарына ағынды шоғырландыратын және тік құбырдың тартылуымен күшейтілетін құйынды қозғалысты жасайтын құйынды жел құрылысы болып табылады.

Әдеби дереккөздерге шолу жасалып, көлденең айналу осімен жұмыс істеп тұрған жел станцияларының негізгі проблемалары

анықталды, олар: үнемі желге бағыттау қажеттілігі, қалақтарды бекіту орнындағы консольдық кернеу, жел дөңгелегінің біркелкі емес айналуы. Тік айналу осі бар құйынды жел құрылғысы желге бағыттау механизмдерін, қалақтардың консольдық кернеуін жоюға мүмкіндік береді және жел дөңгелегінің біркелкі айналуын қамтамасыз етеді. Жел қондырғысында жел дөңгелегі қалақтарына ағынды шоғырландыратын және тік құбырдың тартылуымен күшейтілетін құйынды қозғалыс жасайтын қисық каналды концентратор бар. Жұмыстың ерекшелігі тұрақсыз жел ағынында жел дөңгелегінің біркелкі және тұрақты айналу қозғалысын қамтамасыз ететін концентратор ішінде жасалған тұрақты құйынды қозғалыс болып табылады. Математикалық модельдеу және эксперименттік зерттеулер негізінде эксперименттік модель және жартылай өнеркәсіптік қондырғы жасалды. Нарықта жаңартылатын энергия көздеріне үлкен қызығушылық болғандықтан, жаңа әзірлемелердің, соның ішінде жел энергетикасының тиімділігі мен қауіпсіздігін анықтау үшін тиісті ғылыми-техникалық зерттеулер шұғыл қажет.

Кілтті сөздер: жел, турбина, айналу, қалақтар, дөңгелек.

*М. Б. Кошумбаев¹, С. С. Исенов², Г. С. Нурмаганбетова³, Р. М. Искаков⁴, М. А. Ауельбек⁵

^{1,2,3,4,5}Kazakh AgroTechnical Research University named after S. Seifullin», Republic of Kazakhstan, Astana

Accepted for publication on 28.11.23.

APPLICATION OF THE VORTEX EFFECT TO INCREASE THE EFFICIENCY OF A WIND TURBINE

The article considers a wind turbine with a vertical axis of rotation. The relevance of the research lies in the development of a new type of renewable energy source – a vortex wind device with a vertical axis of rotation without wind guidance mechanisms.

The object of the study is a vortex wind device consisting of a concentrator with curved channels, concentrating the flow on the blades of a wind wheel and creating a vortex motion, which is enhanced by the thrust of a vertical pipe.

A review of literature sources has been conducted, the main problems of operating wind farms with a horizontal axis of rotation have been identified, which include: the need for constant guidance to the wind,

cantilever tension at the attachment point of the blades, uneven rotation of the wind wheel. A vortex wind device with a vertical axis of rotation eliminates wind guidance mechanisms, cantilever tension of the blades, ensures uniform rotation of the wind wheel. The wind device has a concentrator with curved channels that concentrate the flow onto the blades of the wind wheel and create a vortex motion, which is enhanced by the thrust of the vertical pipe. A feature of the development is the steady vortex motion created inside the concentrator, which ensures uniform and stable rotational movement of the wind wheel in unstable wind flow. Based on mathematical modeling and experimental studies, an experimental model and a semi-industrial installation were developed. Since there is a great interest in renewable energy sources on the market, proper scientific and technical research is urgently needed to find out the effectiveness and safety of new developments, including in the field of wind energy.

Keywords: wind, turbine, rotation, blades, wheel.

Теруге 28.11.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.12.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4175

Сдано в набор 28.11.2023 г. Подписано в печать 29.12.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4175

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz