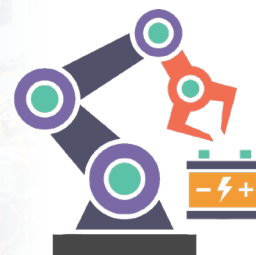


**Автоматика.  
Энергетика.  
ИКТ**



DOI 10.52209/1609-1825\_2024\_3\_367

УДК 620.9(045)

## Разработка и исследование ветроустановки с двумя разнонаправленными ветроколесами

<sup>1</sup>ИСЕНОВ Султанбек Сансызбаевич, к.т.н., декан, isenov\_sultan@mail.ru,

<sup>2</sup>АНТИПОВ Пётр Алексеевич, к.т.н., инженер-электрик, antipoff.pit@yandex.ru,

<sup>1</sup>КОШУМБАЕВ Марат Булатович, д.т.н, старший преподаватель, marat7759@mail.ru,

<sup>1</sup>АУЕЛЬБЕК Марат Ауельбекович, к.т.н., старший преподаватель,  
m.auyelbek@kazatu.edu.kz,

<sup>1</sup>\*НУРМАГАНБЕТОВА Гулим Сахитовна, PhD, старший преподаватель,  
g\_sahitovna@mail.ru,

<sup>1</sup>НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,

<sup>2</sup>ТОО «QSM RESOURCES», ул. Аксай, здание 1, Астана, Казахстан,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Объектом исследования является ветрогенератор с встречно вращающимися лопастями. Особенностью данной конструкции является наличие двух ветроколес, вращающихся в противоположные стороны. Проблемой современной ветроэнергетики, является низкий диапазон рабочих скоростей ветра, слабая генерация при низкой скорости ветра. Ветроустановка, представленная в статье, позволяет достичь повышения генерации электрической энергии на 50-70%. Конструкция устройства включает в себя: два ветроколеса, одно закреплено к статору, второе к оси ротора, металлическое основание, токосъемный механизм. При проведении исследований использовалась экспериментальная модель и полупромышленная установка. Экспериментальные исследования подтвердили теоретическое увеличение генерации электрической энергии данной конструкцией. На практике ветрогенератор с встречно вращающимися лопастями, используется для повышения эффективности генерации электрической энергии при низких скоростях ветра.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, ветер, ветрогенератор, генерация, устройство, ветроколесо, энергоэффективность, ротор, статор.

### Введение

Рассматривается способ повышения эффективности генерации электрической энергии при низких скоростях ветра, посредством добавления второго ветроколеса, закрепленного на статоре, вращающегося в противоположную сторону. Благодаря этому достигается эффект увеличения относительной скорости вращения статора и ротора [1, 2]. Приведены исследования эффективности представленной конструкции, в том числе экспериментальные исследования, также проведена разработка двух моделей ветряков с встречно вращающимися лопастями. Данные исследования являются актуальными и имеют потенциал для дальнейшего изучения.

Ветрогенератор со встречно вращающимися ветроколесами – это новая технология, которая позволяет эффективно преобразовывать ветровую энергию в электричество. Рассмотрим принцип работы такого устройства и его преимущества перед традиционными ветрогенераторами.

Данное исследование по разработке ветроустановки с использованием двух разнонаправленных ветроколес, обеспечивающих повышенную генерацию, является актуальным.

### Методы исследования

#### Назначение лопастей ветроколеса

Исследование процесса трогания и стартовой скорости ветроколес, проводилось на модели ветрового устройства с двумя ветроколесами (рисунок 1) [3, 4].

Лопастей представляют собой криволинейные сужающиеся к концу профили с переменным сечением. Лопасти имеют определенный угол атаки, который обеспечивает



Рисунок 1 – Модели ветрового устройства с двумя ветроколесами

преобразование энергии ветрового потока во вращательное движение ветроколеса. Профиль лопасти выбран согласно справочным данным, угол атаки составляет  $30^\circ$ . Такие характеристики лопастей ветроколеса позволяют уменьшить скорость трогания до 1 м/с.

Для проведения экспериментальных исследований, использовался ветрогенератор со встречно вращающимися ветроколесами, представленный на рисунке 1.

Указанный вариант исполнения ветрогенератора достигается изменением общепринятой конструкции и добавлением дополнительного ветроколеса, которое вращается в противоположную сторону относительно первого по направлению ветра.

При использовании двух ветроколес с 3 лопастями на каждой средняя скорость трогания составляет 1,35 м/с, что на 20% меньше, чем при использовании одного ветроколеса.

Третий тип замеров проводился при разворачивании на одном из ветроколес дополнительных 3 лопастей. При использовании данного технологического решения средняя скорость трогания ветроколеса составляет 1,01 м/с, что более чем на 30% больше в сравнении со вторым экспериментом и на более чем 60% больше в сравнении с первым [5, 6].

Исходя из этих данных, можно смело сделать вывод, что при увеличении числа лопастей и при добавлении дополнительного ветроколеса необходимая скорость ветра для начала трогания ветроколеса снижается.

Увеличение мощности ветроустановки с двумя разнонаправленными ветроколесами за счет увеличения количества лопастей.

Для изучения влияния количества лопастей на мощность генерации, макет был оснащен функцией раскладывания дополнительных лопастей на одном из ветроколес (рисунок 2).

Для исследования влияния встречно вращающихся винтов и раскладывания дополнительных лопастей на одном из ветроколес необходимо произвести сравнение нескольких вариантов. Для этого были проведены эксперименты, которые позволили составить графики зависимостей, которые обосновывают выбор того или иного варианта ветряка [1, 3, 4, 7].

Для экспериментов использовалась конструкция ветрогенератора с изменяющимся количеством лопастей. Функция ветрогенератора, позволяющая изменять количество лопастей на одном из ветроколес, позволяет получить более детальные данные и составить зависимости при разных вариантах ветроколес. Внешний вид ветрогенератора

представлен на рисунке 1.

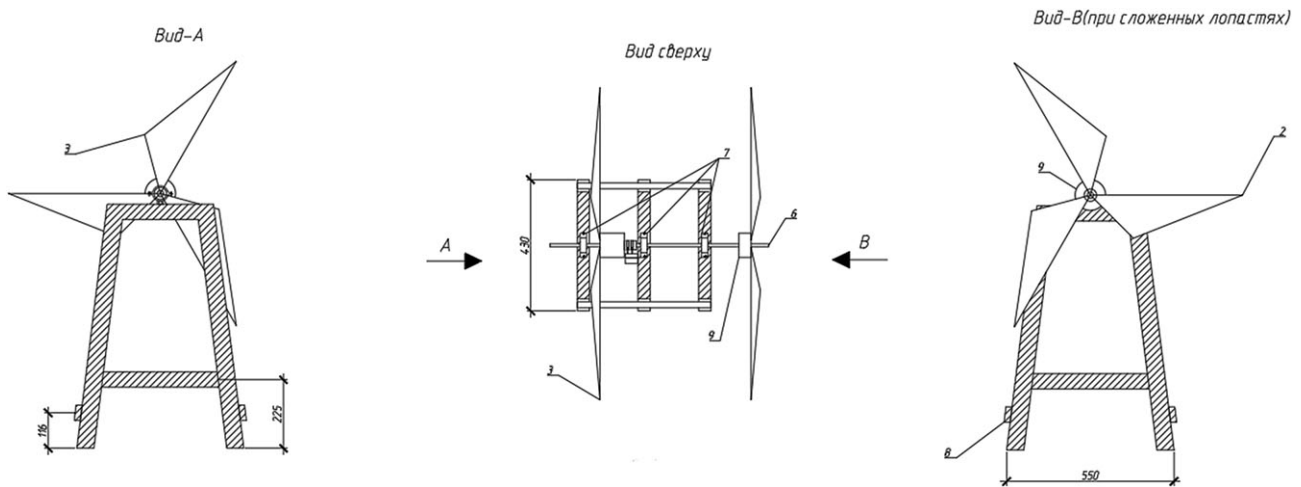
Для разного количества лопастей производилось пять замеров при разных скоростях ветра.

Первый эксперимент представляет из себя замеры, произведенные на трехлопастном ветрогенераторе, лопасти которого закреплены на роторе, при неподвижном статоре. Для обеспечения неподвижности статора с лопастями у экспериментальной установки статор был застопорен с помощью креплений.

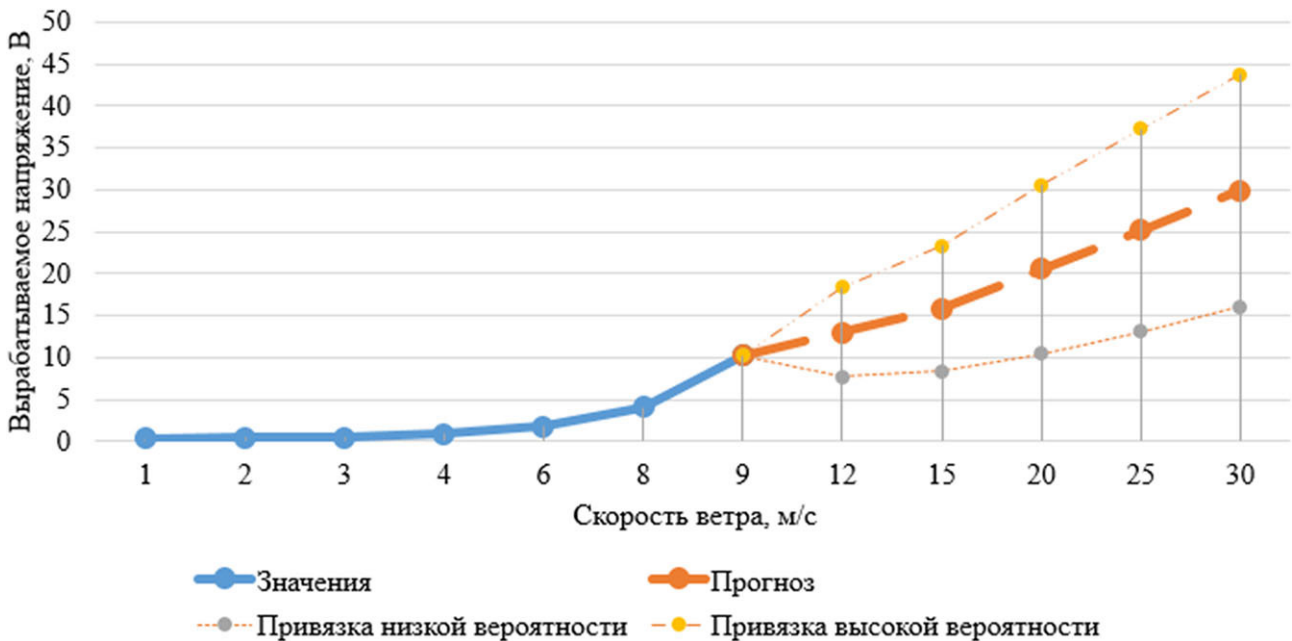
**Результаты исследования**

На рисунке 3 представлен график зависимости вырабатываемого напряжения от скорости ветра.

Как видно на рисунке 3, до 6 м/с генерации напряжения практически не происходит. Однако после происходит рост генерации с увеличением скорости. Так, на 9 м/с (максимальной в эксперименте) происходит выработка 12В напряжения. Дальше по графику следует прогноз, исходя из известных данных. Привязки высокой и низкой веро-



**Рисунок 2 – Внешний вид макета ветрогенератора с двумя разнонаправленными ветроколесами**



**Рисунок 3 – Экспериментальные данные на холостом ходу (3 лопастей на роторе, статор застопорен)**

ятности соответствуют погрешностям в ходе расчёта.

Согласно прогнозу, генерация энергии при этих условиях практически линейно увеличивается после достижения скорости ветра в 9 м/с.

Как видно на представленном графике, заметный рост генерации происходит на скорости ветра 8-9 м/с. Согласно имеющимся данным, прогноз увеличения генерации при скорости выше 9 м/с имеет линейный характер. Так, при скорости ветра 20 м/с генерация составит 15В, при 30 м/с – 20В.

При сравнении графиков на холостом

ходу и графика под нагрузкой можно сделать вывод, что генерация под выбранной нагрузкой снижается на 30%, что прослеживается по всей длине обоих графиков.

### Обсуждение результатов исследований

В заключение сравнения экспериментов необходимо составить диаграмму, которая включает в себя результаты экспериментов как на холостом ходу, так и эксперименты под нагрузкой, для визуального подтверждения выводов.

Результаты экспериментов показаны на

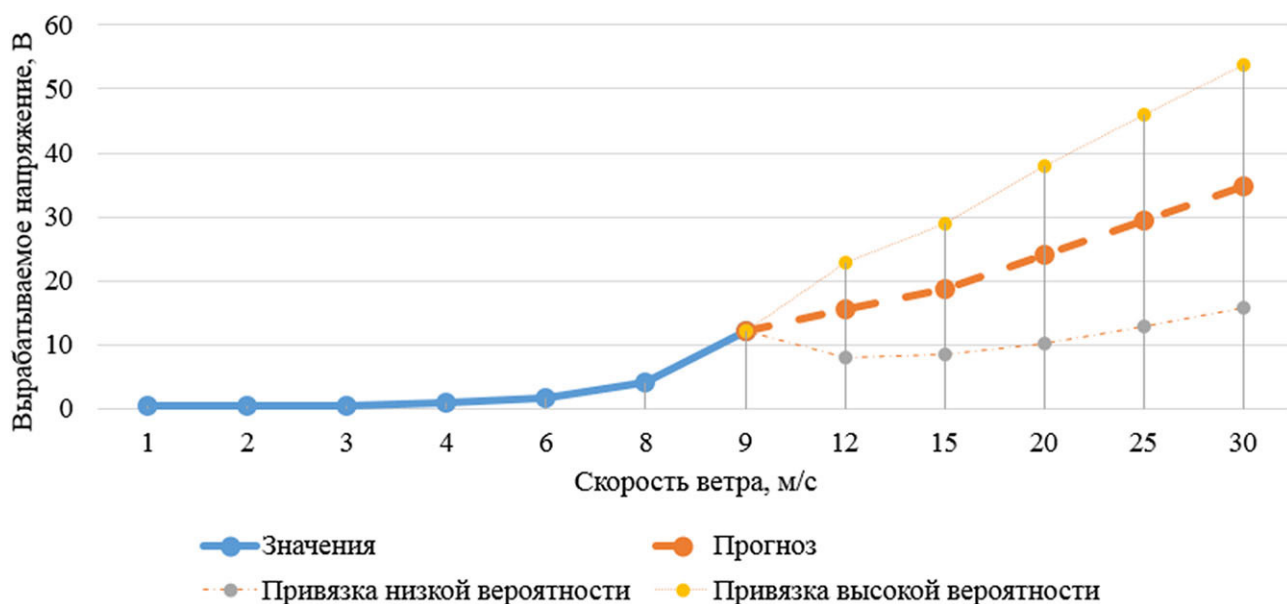


Рисунок 4 – Кривая на основе измерений под нагрузкой ПЭВР-50 (3 лопастей на роторе, 3 лопастей на статоре)

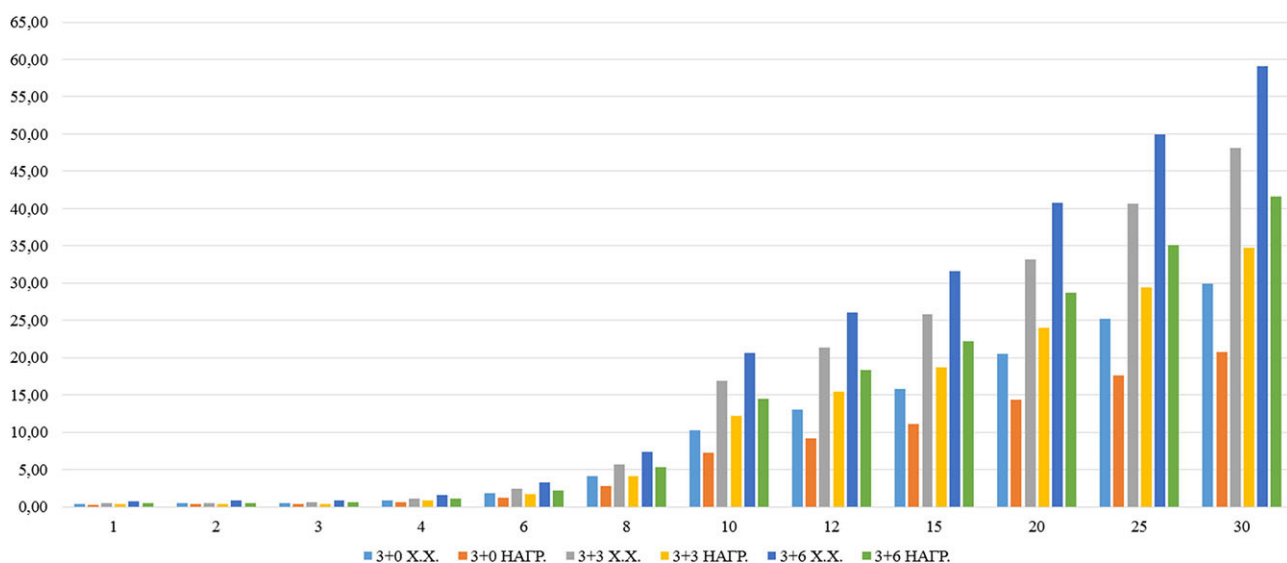


Рисунок 5 – Результаты всех экспериментов

рисунке 5, наилучшие показатели генерации наблюдаются у ветрогенератора с 6 лопастями на роторе и 3 лопастями на статоре.

3+0 х.х. – статор застопорен, 3 лопасти на роторе, на холостом ходу; 3+0 нагр. – статор застопорен, 3 лопасти на роторе, под нагрузкой; 3+3 х.х. – 3 лопасти на статоре, 3 лопасти на роторе, на холостом ходу; 3+3 нагр. – 3 лопасти на статоре, 3 лопасти на роторе, под нагрузкой; 3+6 х.х. – 3 лопасти

на статоре, 6 лопасти на роторе, на холостом ходу; 3+6 нагр. – 3 лопасти на статоре, 6 лопасти на роторе, под нагрузкой.

*Данная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН №АР14872147, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробатов Д.В., Козлов С.В., Сироткин Е.А. Историко-экономический анализ ветроэнергетических установок и систем управления // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2016. – № 5. – С. 45-54.
2. Kaidar A., Issenov S., Sheryazov S., Kislov A., Antipov P. Overview of wind turbine systems // The International Scientific Conference «22nd Satbayev Readings». – Павлодар. – 2022. – С. 169-180.
3. Кайдар А.Б., Марковский В.П., Исенов С.С., Шерьязов С.К., Шапкенов Б.К., Антипов П.А. Модели взаимодействия ветрового потока с одно- и двухколесными турбинами // Материалы республиканской научной конференции молодых ученых, студентов и школьников «XXII Сатпаевские чтения». – Павлодар, 2015. – С. 238-246.
4. Сабинин Г.Х. Теория идеального ветряка / Г.Х. Сабинин // Труды ЦАГИ. – 1927. – № 32. – С. 97-121.
5. Кайдар А.Б., Шапкенов Б.К., Антипов П.А. Расчет потребляемой мощности для автономной системы электроснабжения крестьянского хозяйства // Материалы республиканской научной конференции молодых ученых, студентов и школьников «XXII Сатпаевские чтения». – Павлодар, 2022. – Т. 6. – С. 64-72.
6. Welsh, Andrew, «Low Turbulence Wind Tunnel Design and Wind Turbine Wake Characterization» (2013). Theses and Dissertations. 180. <https://dc.uwm.edu/etd/180>
7. Кайдар А.Б., Исенов С.С., Шапкенов Б.К., Антипов П.А., Шишкин А.В. Особенности энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей // Международная научно-практическая конференция «XIV Торайгыровские чтения». Павлодар, 2022.

### **Екі әр түрлі бағытты жел дөңгелегі бар желқондырғыларын әзірлеу және зерттеу**

<sup>1</sup>**ИСЕНОВ Сұлтанбек Сансызбаевич**, т.ғ.к., декан, [senov\\_sultan@mail.ru](mailto:senov_sultan@mail.ru),

<sup>2</sup>**АНТИПОВ Пётр Алексеевич**, т.ғ.к., инженер-электрик, [antipoff.pit@yandex.ru](mailto:antipoff.pit@yandex.ru),

<sup>1</sup>**КОШУМБАЕВ Марат Булатович**, т.ғ.д., аға оқытушы, [marat7759@mail.ru](mailto:marat7759@mail.ru),

<sup>1</sup>**АУЕЛЬБЕК Марат Ауельбекович**, т.ғ.к., аға оқытушы, [m.auyelbek@kazatu.edu.kz](mailto:m.auyelbek@kazatu.edu.kz),

<sup>1\*</sup>**НҰРМАҒАНБЕТОВА Гулим Сахитовна**, PhD, аға оқытушы, [g\\_sahitovna@mail.ru](mailto:g_sahitovna@mail.ru),

<sup>1</sup>«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,

<sup>2</sup>«QSM RESOURCES» ЖШС, Ақсай көшесі, 1 ғимарат, Астана, Қазақстан,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Зерттеу нысаны – айналмалы қалақшасы бар жел генераторы. Конструкцияның ерекшелігі қарама-қарсы бағытта айналатын екі жел дөңгелегі болып табылады. Қазіргі жел энергетикасының проблемасы, ол желдің жұмыс жылдамдығының төмен диапазоны, желдің төмен жылдамдығындағы әлсіз генерация болып табылады. Мақалада келтірілген жел қондырғысы электр энергиясын өндіруді 50-70% арттыруға мүмкіндік береді. Құрылымының конструкциясы екі жел дөңгелегінен, біреуі статорға, екіншісі ротор осіне бекітілген, металл негізінен, ток механизмінен тұрады. Зерттеу барысында эксперименттік модель және жартылай өнеркәсіптік қондырғы қолданылды. Эксперименттік зерттеулер конструкцияның электр энергиясын өндірудің теориялық өсуін растады. Тәжірибеде ай-

налмалы қалақшасы бар жел генераторы желдің төмен жылдамдығында электр энергиясын өндірудің тиімділігін арттыру үшін қолданылады.

**Кілт сөздер:** жел энергетикасы, жел, жел генераторы, генерация, құрылғы, жел дөңгелегі, энергия тиімділігі, ротор, статор.

### **Development and Research of a Wind Turbine with Two Multidirectional Wind Wheels**

<sup>1</sup>**ISSENOV Sultanbek**, Cand. of Tech. Sci., Dean, isenov\_sultan@mail.ru,

<sup>2</sup>**ANTIPOV Peter**, Cand. of Tech. Sci., Electrical Engineer, antipoff.pit@yandex.ru,

<sup>1</sup>**KOSHUMBAYEV Marat**, Dr. of Tech. Sci., Senior Lecturer, marat7759@mail.ru,

<sup>1</sup>**AUELBEK Marat**, Cand. of Tech. Sci., Senior Lecturer, m.auyelbek@kazatu.edu.kz,

<sup>1</sup>**\*NURMAGANBETOVA Gulim**, PhD, Senior Lecturer, g\_sahitovna@mail.ru,

<sup>1</sup>NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», Zhenis Avenue, 62, Astana, Kazakhstan,

<sup>2</sup>LLP «QSM RESOURCES», Aksai Street, Building 1, Astana, Kazakhstan,

\*corresponding author.

**Abstract.** The object of the study is a wind generator with counter-rotating blades. A special feature of this design is the presence of two wind wheels rotating in opposite directions. The problem of modern wind power generation, is the low range of operating wind speeds, weak generation at low wind speeds. The wind turbine presented in the paper achieves a 50-70% increase in electrical power generation. The design of the device includes: two wind wheels, one fixed to the stator, the other to the rotor axis, a metal base, and a current-carrying mechanism. An experimental model and a semi-industrial plant were used in this research. Experimental studies confirmed the theoretical increase in electrical power generation by this design. In practice, a wind turbine generator with counter-rotating blades is used to improve the efficiency of electrical power generation at low wind speeds.

**Keywords:** wind energy, wind, wind generator, generation, device, wind wheel, energy efficiency, rotor, stator.

## REFERENCES

1. Korobatov D.V., Kozlov S.V., Sirotkin E.A. Istoriko-jekonomicheskij analiz vetrojenergeticheskikh ustanovok i sistem upravlenija [Historical and economic analysis of wind power plants and control systems]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologija», 2016. – No. 5. – Pp. 45-54.
2. Kaidar A., Issenov S., Sheryazov S., Kislov A., Antipov P. Overview of wind turbine systems // The International Scientific Conference «22nd Satbayev Readings». – Павлодар. – 2022. – Pp. 169-180.
3. Kajdar A.B., Markovskij V.P., Isenov S.S., Sher'jazov S.K., Shapkenov B.K., Antipov P.A. Modeli vzaimodejstvija vetrovogo potoka s odno- i dvuhkolesnymi turbinami [Models of wind flow interaction with single- and double-wheeled turbines]. Materialy respublikanskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh, studentov i shkol'nikov «XXII Satpaevskie chtenija». – Pavlodar, 2015. – Pp. 238-246.
4. Sabinin G.H. Teoriya ideal'nogo vetrjaka [Theory of an ideal wind turbine]. Trudy CAGI. – 1927. – No. 32. – Pp. 97-121.
5. Kajdar A.B., Shapkenov B.K., Antipov P.A. Raschet potrebljaemoj moshhnosti dlja avtonomnoj sistemy jelektrosnabzhenija krest'janskogo hozjajstva. Materialy respublikanskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh, studentov i shkol'nikov «XXII Satpaevskie chtenija». – Pavlodar, 2022. – T. 6. – Pp. 64-72.
6. Welsh, Andrew, «Low Turbulence Wind Tunnel Design and Wind Turbine Wake Characterization» (2013). Theses and Dissertations. 180. <https://dc.uwm.edu/etd/180>
7. Kajdar A.B., Isenov S.S., Shapkenov B.K., Antipov P.A., Shishkin A.V. Osobennosti jenergoobespechenija sel'skohozjajstvennyh potrebitelej [Peculiarities of energy supply to agricultural consumers] // Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «XIV Torajgyrovskie chtenija». Pavlodar, 2022.