

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

№ 2 (2024)

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/ZSHT7059>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.,

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә. Б. *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцен;</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

МРНТИ 44.29.01:50.47.02

<https://doi.org/10.48081/YRLV5945>

***К. С. Шоланов¹, Г. С. Токишева¹, А. С. Омаров²,
Н. М. Кашкимбаева¹, Ж. Р. Исаева¹**

¹Казахский агротехнический исследовательский университет
имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана.

²Карагандинский технический университет имени А. Сагинова²
Республика Казахстан, г. Караганда

*e-mail: sholkor@gmail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПАРУСНЫХ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье рассматривается новый вид малой ветровой электростанции – автоматическая парусная ветровая электростанция (ПВЭС), которая может функционировать в большом диапазоне скоростей ветра, начиная от 2.5 м/с и выше независимо от изменения направления и скорости ветра.

Эта ПВЭС используют новую технологию преобразования энергии ветра в электрическую энергию, отличающуюся тем, что воспринимает одновременно силы сопротивления и подъемные силы, действующие на парус, независимо от изменения направления ветра. Для реализации этой технологии используется конструкция ПВЭС составленная из качающихся мачты и паруса, с аэродинамическим профилем сечения, установленных на платформе шестиподвижного параллельного манипулятора SHOLKOR, составленного из шести актуаторов.

Совершенство конструкции ПВЭС во многом определяется адекватностью используемых исходных данных, среди которых следует выделить характеристики скорости и направления ветра на заданной высоте. В данной статье предлагается методология определения характеристики ветра путем экспериментального ежесекундного исследования, формирование базы данных и

обработка данных методом искусственного интеллекта. Полученные закономерности изменения характеристик ветра могут быть использованы при расчете, а также для определения емкости и выбора аккумуляторов автономной ПВЭС.

Ключевые слова: парусная ветровая электростанция, проектирование, кадастр ветров, характеристики ветра, емкость аккумулятора.

Введение

В настоящее время экологическая ситуация в мире, связанная с глобальным потеплением связанным с выбросом парниковых газов, приводит к необходимости замены органического топлива возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Одним из ВИЭ является энергия ветра, которая может быть преобразована в другие виды энергии, приблизительно мощностью $1,26 \times 10^9$ МВт [1]. Так как это значение в 20 раз превышает глобальное потребление энергии, то энергия ветра в принципе может удовлетворить все энергетические потребности мира. В связи с этим является актуальным вопрос преобразования энергии ветра в электрическую энергию с применением парусных ветровых электростанций и совершенствование методов их проектирования.

Материалы и методы

Описание парусной ветровой электростанций.

Анализ исследований в области ветроэнергетики показывает, что они в основном направлены на совершенствование турбинных ветровых электростанций (ТВЭС) и предусматривают в большинстве решение следующих проблем: оптимизацию преобразовании энергии ветра, например, путем: демпфирования энергоколебаний в системе [2; 3]; мониторинга окружающих условий и работоспособности ТВЭС, использования больших данных, модернизацией систем управления, например, используя контроллеры на основе наблюдателей возмущений [4]; исследованием аэродинамики лопастей [5]. Однако для обеих видов ТВЭС (с горизонтальной и вертикальной осью) проблемой является непредсказуемость ветра, скорости и силы порывов ветра, часто изменяющиеся в короткие отрезки времени, а также то, что нижняя границей диапазона скоростей ветра, при котором функционируют с

номинальной мощностью ТВЭС, как правило, достаточно высока - более 10 м/с при максимальном КПД равном 0.3 [6–7]. Одним из направлений в развитии ветровой энергетики в последнее время являются автоматически управляемые малые парусные ветровые электростанции, предложенные в работах [8; 9; 10].

Эти ПВЭС используют новую технологию преобразования энергии ветра в электрическую энергию. Для реализации этой технологии применяется качающийся в пространстве (как обратный маятник) парус с аэродинамическим профилем воспринимающий одновременно силы сопротивления и подъема от действия ветра, независимо от его направления, а также манипуляторный преобразователь (МП), составленный из параллельного манипулятора Sholkor [9]. МП, благодаря своей топологии и конструкции преобразует энергию пространственного движения под действием ветра рабочего органа (РО), составленного из паруса, мачты и верхней платформы манипулятора в электрическую энергию. Это становится возможным благодаря тому, что конструкция манипулятора состоит из шести актуаторов, соединяющих верхнюю платформу с основанием (нижней платформой). Каждый актуатор составлен из полуактивной демпферной системы, системы отбора мощности и генератора электрического тока. Проведенные исследования показывают, что малые автоматические ПВЭС (мощностью 1–10 кВт) могут автономно генерировать электрическую энергию при изменении скоростей ветра в большом диапазоне, начиная от 2.5 м/с и выше, независимо от направления ветра. Эта особенность ПВЭС позволяет расширить географию и область применения ветровой энергетики. В этой связи в статье рассматриваются возможности дальнейшего совершенствования ПВЭС.

Предлагается методология эксперимента по определению характеристик ветра основанная на математической теории эксперимента для выбора адекватных характеристик ветра при проектировании ПВЭС. Она заключается в том, что производится математическое планирование эксперимента при котором с применением методов искусственного интеллекта и математического аппарата устанавливается прогнозируемая на актуаторах нагрузка.

Эта нагрузка является исходной при проектировании ПВЭС.

Конструкция ПВЭС состоит из МП с топологией параллельного манипулятора Sholkog и рабочего органа. Рабочий орган состоит из паруса (парусов) 1 (Рис.1) в виде зонта с аэродинамическим профилем сечения а также из мачты 2 и верхней платформой параллельного манипулятора 3. Верхняя подвижная платформа 3 и основание 4 (нижняя платформа) манипулятора связаны шестью актуаторами 5 со встроенными генераторами посредством многосвязных соединений. Во время движения паруса под действием ветра вырабатывается электрический ток, который фиксируется блоком микроамперметров 6.

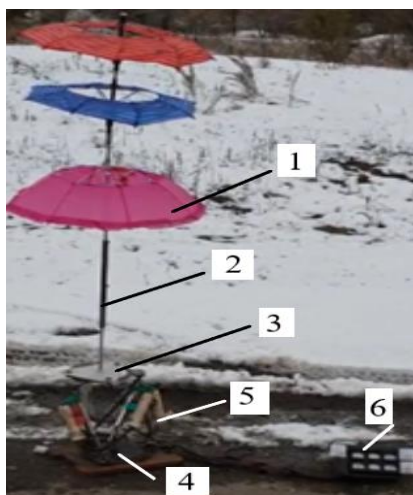


Рисунок 1 – Действующая лабораторная модель

При автоматическом управления парусностью зонт раскрывается и складывается в виде веера изменяя автоматически площадь соприкосновения с воздушным потоком в зависимости от скорости ветра. Актуаторы МП обеспечивают функционирование ПВЭС и являются непосредственными преобразователями механической энергии РО в электрическую энергию. В этой связи эффективность работы ПВЭС во многом зависит от конструкции актуатора. Актуатор состоит из трех узлов: полуактивной пружинно-демпферной подвески (ПДП), системы отбора мощности (СОМ) и генератора электрического тока. Введение в конструкции актуаторов полуактивных ПДП имеет целью обеспечить

стабильное функционирование ПВЭС вне зависимости от изменения скорости и направления ветра. В дальнейшем в автоматически управляемой системе генерирования производится обработка, преобразование, хранение и подача электрической энергии требуемой мощности потребителю.

Результаты и обсуждение

Анализ ветровой ситуации в местах установки ветроэлектростанций.

Как указывалось выше, при проектировании ПВЭС и актуаторов в частности важно правильно сформировать исходные данные по характеристикам ветра. В этой связи ниже рассматривается этап формирования базы данных по скорости и направлению ветра путем ежесекундного измерений с помощью приборов. Такие измерения ветровой ситуации необходимо проводить предварительно в местах предполагаемой установки ветроэлектростанции ВЭС [10].

В качестве приборов для измерения выбраны чашечный анемометр ТМ-710-МС и флюгер ТМ-610-ММ установленные на высоте 14 м., которые через аналоговые входы А0 и А1 подключены к плато Arduino Mega, отвечающей за получение, обработку и формирование базы данных в Excel. В результате проведенных исследований создана база данных изменения скорости и направления ветра вблизи города Караганда (РК) в октябре, ноябре месяце 2023 г [11]. На рис 2, а,б приведены фрагменты диаграммы ежесекундного изменения в течении одной минуты случайных по величине скорости и направления ветра. Диаграммы показывают значительную динамику изменения характеристик ветра с течением времени. Так, например, на диаграмме (Рис. 2,б) можно наблюдать изменение направления ветра на противоположное за короткий промежуток времени. Для получения определенной закономерности, из полученной базы данных (можно рассматривать любую другую базу данных) с помощью программы Python, используя библиотеки для работы с данными формируется самообучающаяся нейронная сеть. В начале подключаются различные инструменты, такие как Pandas для работы с данными, Scikit-learn для машинного обучения и Keras для создания нейронных сетей.

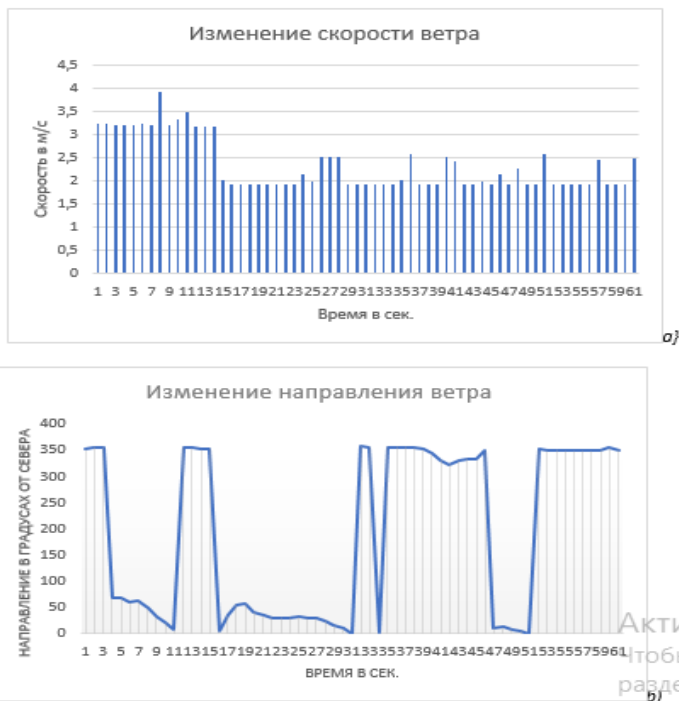


Рисунок 2 – Диаграммы ежесекундного изменения характеристик ветра

Далее производится выборка характеристик из исходной базы для следующих 4-х диапазонов скоростей в м/с: [0-5], [до 10], [до 15], [свыше 15]. При этом одновременно формируются данные по направлению ветра в градусах от севера, соответствующие выбранным скоростям и суткам. Для каждого из диапазонов выполняется подготовка данных, т.е. данные разделяются на входные переменные (скорость и направление) и выходные переменные (скорость и направление), которую мы хотим предсказать с помощью нейросетей.

Для решения поставленной задачи использован методы глубокого обучения. В результате создана самообучающаяся нейронная сеть, архитектура которой была построена с использованием библиотеки TensorFlow и её встроенной модули Keras. Входные данные для обучения были извлечены из исходных данных, хранящихся в Excel-файле, и подвергнуты предобработке. В частности, данные были нормализованы с

помощью стандартного масштабирования (StandardScaler) из библиотеки Scikit-learn. Архитектура нейронной сети включала в себя три слоя. Первый слой - это входной слой, содержащий два нейрона, соответствующих двум входным признакам. Последовательно за ним шёл скрытый слой, содержащий 64 нейрона с функцией активации ReLU (Rectified Linear Unit). Выбор количества нейронов в скрытом слое был обусловлен эмпирическими соображениями и результатами предварительных экспериментов. Завершал архитектуру нейронной сети выходной слой, состоящий из двух нейронов с линейной функцией активации. Обучение нейронной сети проводилось с использованием алгоритма Адама (Adam optimizer) и функции потерь среднеквадратичного отклонения (Mean Squared Error, MSE). Обучение велось в течение 50 эпох с размером пакета (batch size) равным 16. После обучения нейронная сеть была применена для генераций на тестовом наборе данных. Результаты были сохранены в Excel-файл для последующего применения при проектировании ПВЭС. Полученная программа используется для предсказания направления и скорости движения на каждом из 4-х диапазонов изменения скорости ветра. В таблице 1 приведены некоторые фрагменты предсказанных данных по скорости и направлению для диапазона скорости [0-5] м/с в течении 1 минуты измеренные через 5 секунд.

Таблица 1 – Фрагменты данных по скорости и направлению

№ п/п	Время, с.	Скорость м/с (прогноз)	Направление в град от севера (прогноз)	№ п/п	Время, с.	Скорость м/с (прогноз)	Направление в град от севера (прогноз)
1	0	2,07	207,5	8	35	2,0	37,2
2	5	1,9	16,1	9	40	3,5	35,4
3	10	2,1	332,8	10	45	1,9	29,1
4	15	2,3	338,0	11	50	2,4	332,1
5	20	2,3	49,8	12	55	1,9	9,7
6	25	2,0	100,9	13	60	1,9	41,0
7	30	1,9	46,3				

Предсказанные значения сохраняются в файл Excel вместе с соответствующими направлениями представляют собой выявленную закономерность изменения скорости и направления ветра при изменении скорости ветра в диапазоне [0-5] м/с. Эти закономерности могут быть использованы при проектировании ветровых электростанций, а также при

использовании кадастра ветров в месте предполагаемой установки ВЭС. Также на основе анализа прогнозируемого значения скорости ветра в течении суток с помощью программных средств Python могут быть выделены штильные интервалы времени, когда скорость ветра менее минимального значения (2,5 м/с для ПВЭС) и энергетические интервалы времени, когда скорость ветра более установленного времени. За минимальную скорость принимается скорость ветра на заданной высоте, при котором ПВЭС вырабатывает энергию номинальной мощности. В штильные промежутки времени питание потребителя производится от аккумуляторов и продолжительность этого периода используется для выбора емкости аккумуляторов или других резервирующих устройств на стадии проектирования ПВЭС. При этом принято, что для ПВЭС минимальная скорость при которой вырабатывается электроэнергия номинальной мощности равна 2,5 м/с. Исходными данными для вычисления в этом случае является база данных по прогнозируемой скорости ветра. Эта база формируется по данным наиболее безветренного состояния погоды. По запросу программы вводится минимальная скорость ветра и программа выбирает наиболее продолжительное штильное время, при котором скорость ветра меньше установленного значения. На основании проведенных измерений с помощью программы Python и обучением нейросети установлена закономерность изменения скорости ветра и сформирована база данных. В качестве примера на рис.3 показана диаграмма, построенная в программе Python на основе анализа прогнозируемой скорости ветра, с применением, которых получена продолжительность штильного времени $T = 234.95$ мин. На диаграмме (Рис.4) по оси абсцисс отложено время измерения скорости ветра при $k = 1000$. Красная линия показывает выбранное граничное значение скорости ветра. Желтым цветом выделена зона самого продолжительного штильного времени, равной $T = 234,95$ мин.

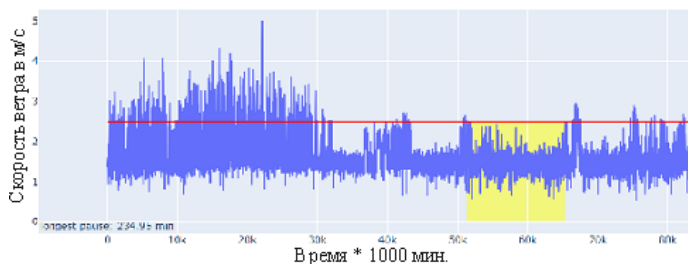


Рисунок 3 – Диаграмма изменения скорости ветра с выявленным штильным временем

В качестве примера определим количество аккумуляторов необходимое для оснащения автономной ПВЭС мощностью $N = 5$ кВт. Выбираем свинцово-кислотный герметизированный аккумулятор типа AGM напряжением $v = 24$ В. Принимаем штильное время равным $T = 4$ час., КПД аккумулятора - $\eta = 0,85$. Определим требуемую емкость аккумулятора для обеспечения электроэнергией потребителя

$$C = \frac{N \cdot T}{V \cdot \eta} = 1470,6 \text{ Ач.}$$

Следовательно, можно выбрать для ПВЭС 8 аккумуляторов отечественного производства «Mutlu 190 (1D5.190.125.A, левый+)».

Информация о финансировании

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP14869386 «Исследование, разработка совокупности конструкций и создание экспериментального образца автоматически управляемой парусной ветровой электростанции с качающимся рабочим органом», финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

Для использования адекватных данных при проектировании ПВЭС на основе кадастра ветров использовалась методология эксперимента, основанная на результатах ежесекундного измерения скорости и направления ветра и последующего формирования базы данных для различных диапазонов изменения скорости ветра. С тем, чтобы установить

и применить закономерности в изменении характеристик ветра выбран метод искусственного интеллекта (МИИ) для предсказания скорости и направления ветра в любой заданный промежуток времени для каждого из диапазонов. Эти данные, предсказанные с помощью МИИ, предлагается использовать при проектировании ПВЭС, а также использовать для определения самого продолжительного штильного времени и выбора необходимой емкости аккумуляторов, обеспечивающих автономное функционирование ПВЭС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Tong, W. Fundamentals of wind energy // WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering. – 2010. – Vol 44. – P. 3–48.
<https://doi.org/10.2495/978-1-84564-205-1/01>.

2 Sutherland, H. J., Berg, D. E., Ashwill, T. D. A retrospective of VAWT technology // SAND 2012, Sandia National Laboratories, California.

3 Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro. Power Converters in Wind Energy Conversion Systems // Book Chapter, Publisher IEEE. – 2012.

4 Anup, K. C., Whale, J., Urmee, T. Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment // A review, Renewable energy. – 2019. – Vol. 131. – P. 268–283.

5 Bhutta, M. M. A., Hayat, N., Farooq Ali A. U. Z., Jamil, S. R., Hussain, Z. Vertical axis wind turbine—A review of various configurations and design techniques // Renewable and Sustainable Energy Rev. – 2012. – Vol. 4. – No. 16. – P. 1926–1939, 10.1016/j.rser.2011.12.004

6 Gao, C., Liu, H., Jiang, H., Li, Y. Tang, X. Research on the sub-synchronous oscillation in wind power connected to series compensated power system and its influencing factors // CES Transactions on Electrical Machines and Systems. – 2017. – Vol. 1. – No 3. – P. 334–340

7 Canizo, M., Onieva, E., Conde, A., Charramendieta, S., Trujillo, S. Real-time predictive maintenance for wind turbines using Big Data frameworks // International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM) –

Dallas: IEEE. – 2017. – P.70–77.
<https://doi.org/10.1109/ICPHM.2017.7998308>.

8 Sholanov, K., Omarov, A., Ceccarelli, M. Improving efficiency of converting wind energy in modified sail wind power station // International Journal of Mechanics and Control. – 2022. – Vol. 23, No 02. – P. 101–10.

9 Sholanov, K. S. Parallel Manipulators of Robots: Theory and Applications. – Springer, 2020. – P. 164 – <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56073-77>

10 Nguyen, H. M., Naidu, D. S. Advanced control strategies for wind energy systems: An overview. In Proceedings of the 2011 // IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Phoenix, AZ, USA. – 2011. – P. 1–8.

11 Bengio, Y. Learning deep architectures for AI. – Foundations and trends in Machine Learning 2009. – P. 1–127.

Поступило в редакцию 27.03.24

Поступило с исправлениями 29.04.24

Принято в печать 02.06.24

*К. С. Шоланов¹, Г. С. Токишева¹, А. С. Омаров²,
Н. М. Кашикмбаева¹, Ж. Р. Исаева¹

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті¹

²Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

А. Сагинов атындағы Қарағанды техникалық университеті

Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.;

27.03.24 ж. баспаға түсті.

29.04.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫҢ ЖОБАЛАУҒА МӘЛІМЕТТЕРДІ ӨЗІРЛЕУ

Мақалада шағын жел электр станциясының жаңа түрі – жел жылдамдығының бағытының өзгеруіне қарамастан 2.5 м/с және одан жоғары жел жылдамдығының үлкен диапазонында жұмыс

істей алатын автоматты желкенді жел электр станциясы (ПВЭС) қарастырылады.

Бұл ПВЭС жел энергиясын электр энергиясына айналдырудың жаңа технологиясын қолданады, ол жел бағытының өзгеруіне қарамастан желкенге әсер ететін қарсылық күштері мен көтергіш күштерді бір уақытта қабылдаумен ерекшеленеді. Бұл технологты іске асыру үшін алты актуатордан тұратын SHOLKOR алты қозғалмалы параллель манипуляторының платформасында орнатылған аэродинамикалық қима профилі бар тербелмелі діңгектер мен желкендерден тұратын ПВЭС конструкциясы пайдаланылады.

ПВЭС конструкциясының жетілдірілуі көбінесе пайдаланылатын бастапқы деректердің барабарлығымен анықталады, олардың арасында берілген биіктіктегі желдің жылдамдығы мен бағытының сипаттамаларын бөліп көрсету керек. Бұл мақалада эксперименттік секундтық зерттеу арқылы желдің сипаттамасын анықтау әдістемесі, мәліметтер базасын құру және жасанды интеллект әдісімен деректерді өңдеу ұсынылады. Жел сипаттамаларының өзгеруінің алынған заңдылықтарын есептеу кезінде, сондай-ақ автономды ПВЭС батареяларының сыйымдылығы мен таңдауын анықтау үшін пайдалануға болады.

Кілтті сөздер: желкенді жел электр станциясы, жобалау, жел кадастры, жел сипаттамалары, батарея сыйымдылығы.

*K. S. Sholanov¹, G. S. Tokisheva¹, A. S. Omarov²,
N. M. Kashkimbayeva¹, J. R. Isaeva¹

¹Kazakh agrotechnical research university named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana;

²Karaganda Technical University named after A. Saginov,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.

Received 27.03.24.

Received in revised form 29.04.24.

Accepted for publication 02.06.24.

GENERATING DATA FOR THE DESIGN OF SAILING WIND POWER PLANT

The article will consider a new type of small wind power plant – an automatic sailing wind power plant, which can operate in a large range of wind speeds of 2.5 m/s and above, regardless of changes in the direction of wind speed.

This sailing wind power plant uses a new technology for converting wind energy into electricity, which is distinguished by the simultaneous perception of resistance forces and lifting forces acting on the sail, regardless of the change in wind direction. To implement this technologist, the design of the sailing wind power plant, consisting of oscillating masts and sails with an aerodynamic cross-section profile, installed on the platform of the six movable parallel manipulators SHOLKOR, consisting of six actuators, is used.

The perfection of the design of the sailing wind power plant is largely determined by the adequacy of the initial data used, among which it is necessary to highlight the characteristics of the speed and direction of the wind at a given altitude. This article presents the methodology for determining the characteristics of the wind by experimental second study, the creation of a database and data processing by the method of artificial intelligence. The obtained patterns of changes in wind characteristics can be used in the calculation, as well as to determine the capacity and choice of autonomous sailing wind power plant batteries.

Keywords: sailing wind power plant, design, wind inventory, wind characteristics, battery capacity.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«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