

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

№ 3 (2025)

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/TPDW7598>

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., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
	<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/HZRF2560>

**К. С. Шоланов¹, *Г. Ж. Асаинов², Н. Б. Жакипов³,
Е. А. Буранбаев⁴, В. П. Марковский⁵**

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

⁵Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2077-7883>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1330-5909>

³ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7239-2095>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4564-2225>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8519-7679>

*e-mail: asainovgibrat@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ И АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПАРУСНОЙ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Статья посвящена созданию системы генерирования и аккумуляции электрической энергии электрохимическим методом, в автономной парусной ветровой электростанции (ПВЭС) с качающимся парусом. В статье ставится цель создать эффективную электрохимическую систему аккумулирующую энергию, вырабатываемую ветровой парусной электростанцией, имеющей в своем составе шесть 3-х фазных синхронных генераторов переменного электрического тока. При этом на основе анализа существующих в ветроэнергетике решений, рассматривается случайный характер ветровой нагрузки, а также проблемы взаимодействия нескольких источников генерации энергии с различной реальной производительностью. Для решения поставленной задачи была создана принципиальная схема системы генерирования и аккумуляции электрической энергии, основанная на преобразовании переменного генерируемого тока в постоянный и дальнейшее параллельное соединение на общую шину с электрохимическими

вторичными элементами. Эта система обеспечивает потребителя переменным электрическим током требуемой мощности за счет применения инвертора. На основе разработанной схемы создана экспериментальная система генерирования и аккумуляирования, содержащая подсистему автоматической защиты аккумуляторов от глубокого разряда. Проведены испытания экспериментальной системы на возможность функционирования. Результаты испытания показали, что разработанная система генерирования и аккумуляирования может быть использована в созданном опытном образце парусной ветровой электростанции.

Ключевые слова: парусной ветровой электростанции, аккумуляирования электрической энергии, ВИЭ, подстанция, синхронный генератор.

Введение

В настоящее время в связи с глобальным потеплением в следствии выбросов парниковых газов возникает необходимость замены органического топлива возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). Актуальным является использование ВИЭ в виде ветровых электростанций и повышение эффективности преобразования энергии ветра в электрическую энергию.

В настоящее время широкое распространение в практике получили турбинные ветровые электростанции (ТВЭС) с горизонтальным [1; 2] и вертикальным расположением осей роторов, включая роторные турбины Dargious и Savonious [3; 4]. Для обоих видов ТВЭС проблемой остается непредсказуемость ветра, скорости и силы порывов ветра, часто изменяющиеся в короткие промежутки времени, а также то, что нижняя граница диапазона скоростей ветра, при котором ТВЭС функционируют с номинальной мощностью, является наличие постоянного ветра со скоростью от 10 м/с, что обуславливает территориальное ограничение по применению таких ВЭС [5; 6; 7]. Перспективной альтернативой ТВЭС является малая автоматически управляемая парусная ветровая электростанция (ПВЭС), созданная на основе научных исследований проведенных в работах [8; 9; 10]. Эти ПВЭС способны удовлетворить потребности населения обширных географических территорий и районов с малой скоростью ветра (от 2,5 м/с), при непредсказуемо изменяющихся направлений и величин скоростей ветра вплоть до ураганного [11; 12].

Настоящая статья является продолжением работ по созданию и совершенствованию автономных малых парусных ветровых электростанций и направлено на бесперебойное энергообеспечение потребителей путем применения электрохимических систем накопления электрической энергии. Известные работы в области накопления электрической энергии [13; 14]

свидетельствуют, что создание и совершенствование систем накопления являются актуальной и насущной проблемой в ветроэнергетике.

Материалы и методы

Описание парусной ветровой электростанции с зонтовым парусом

Как указывалось выше, в статье ставится задача формирования системы аккумулирования электрической энергии для ПВЭС, экспериментальный образец которой создан на основе проведенных ранее работ. ПВЭС имеет свои конструктивные особенности, являющиеся основной причиной для формирования новой схемы системы накопления электрической энергии. В связи с этим на примере экспериментального образца ниже дается описание

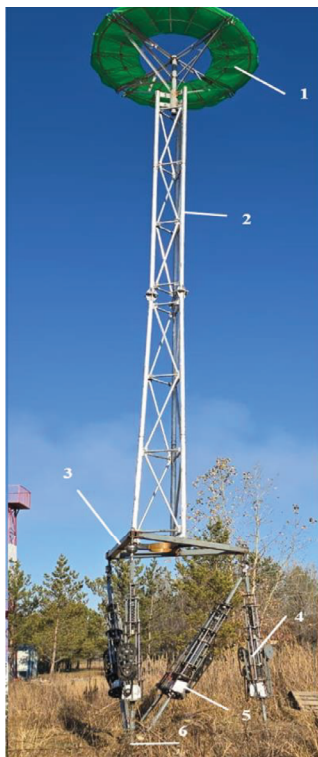


Рисунок 1. Экспериментальный образец ПВЭС с качающимся зонтовым парусом

особенностей конструкции ПВЭС (Рис.1). Как известно функционирование ПВЭ основано на новой технологии преобразования энергии ветра в электрическую энергию. Для реализации этой технологии применяется качающийся в пространстве (как обратный маятник) рабочий

орган составленный из паруса 1 в виде зонта с аэродинамическим профилем, расположенного на мачте 2 жестко связанного с верхней платформой 3 параллельного манипулятора Sholkor. Параллельный манипулятор состоит из шести актуаторов 4 имеющих в своем составе генераторы электрического тока 5. Актуаторы соединяют верхнюю платформу с нижней платформой (основанием). Параллельный манипулятор, благодаря своей топологии структуры, преобразует энергию пространственного движения рабочего органа в электрическую энергию. Это становится возможным из-за того, что каждый актуатор имеет систему преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное движение вала электрической машины генерирующей электрический ток. Конструкция обеспечивает преимущество ПВЭС, а именно: генерирование электрической энергии независимо от изменения направления скорости ветра, а также функционирование при малой скорости ветра от 3 м/с. Отличительной особенностью конструкции ПВЭС является то, что она имеет шесть генераторов электрического тока, функционирующих независимо друг от друга и имеющих в реальное время разные частоты вращения.

В связи с этим возникает новая задача- синхронизации работы нескольких генераторов в одной ветровой электростанции. Очевидно то, что наличие и совместное функционирование нескольких генераторов вызывает также необходимость создания новой системы аккумулирования электрической энергии.

Результаты и обсуждение

Формирование системы генерирования и аккумулирования электрической энергии ПВЭС

Исходным источником энергии для ТВЭС и ПВЭС является энергия ветра. В этой связи с точки зрения генерации электрической энергии в ПВЭС можно использовать опыт применения систем генерирования в ТВЭС. В настоящее время в системах генерации электрической энергии в ТВЭС используется множество различных электрических машин. На основе анализа зарубежной литературы приведенной выше получены сравнительные характеристики генераторов применяемых в ТВЭС (табл.1). Как видно из таблицы, PMSG стабильно вырабатывает энергию с достаточно высокой эффективностью при любых скоростях ветра, даже при самых низких от 3 м/с. В этой связи для экспериментального образца ПВЭС выбран PMSG модели Naier Wind Power 1000W 24V/500rpm.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика генераторов в системе ВЭС

Тип генератора	Преимущества	Недостатки
Асинхронные генераторы (IG)	– Диапазон максимальной скорости – Не требуется наличия щеток – Реактивная и активная мощность полностью контролируется	– Обязательно наличие преобразователя мощности – Редуктор обязателен
Синхронные генераторы (SG)	– Диапазон максимальной скорости – Редуктор не обязателен – Реактивная и активная мощность полностью контролируется	– Достаточно компактного преобразователя для полевых работ – Требуется преобразователь мощности AC/DC/AC – Требуется многополюсный генератор в случае топологии с прямым приводом – Требуется дополнительный источник питания
Асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором (SCIG)	– Прочная конструкция и более простой механизм – щетки не требуются – непроницаемость ротора – Подходит для работы с переменной скоростью – Защита со стороны сети повышена	– Требуются преобразователи со стороны сети и нагрузки. – требуется большее количество переключателей силового преобразователя, – не подходит для безредукторной работы в многопортовых системах.
Асинхронные генераторы с двойным питанием (DFIG)	– Диапазон скорости ограничен от -30 % до 30 % от синхронной скорости – Дешевый ШИМ инвертор малой мощности – Реактивная и активная мощность полностью контролируется	– Требуются контактные кольца – Требуется редуктор – Требуется дополнительный источник питания
Синхронные генераторы с постоянными магнитами (PMSG)	– Диапазон максимальной скорости – Не требуется редуктор – Реактивная и активная мощность полностью контролируется – Отсутствие щеток уменьшают ремонт	– Требуется преобразователь мощности AC/DC/AC – Многополюсный генератор (большой и тяжелый) – Требуется постоянные магниты

Как отмечалось, в ПВЭС [15] из-за случайного характера ветровой нагрузки возникает задача использования и соединения шести генераторов.

Однако методы точной синхронизации и самосинхронизации не могут быть осуществлены для модуля генерирования ПВЭС, так как скорости

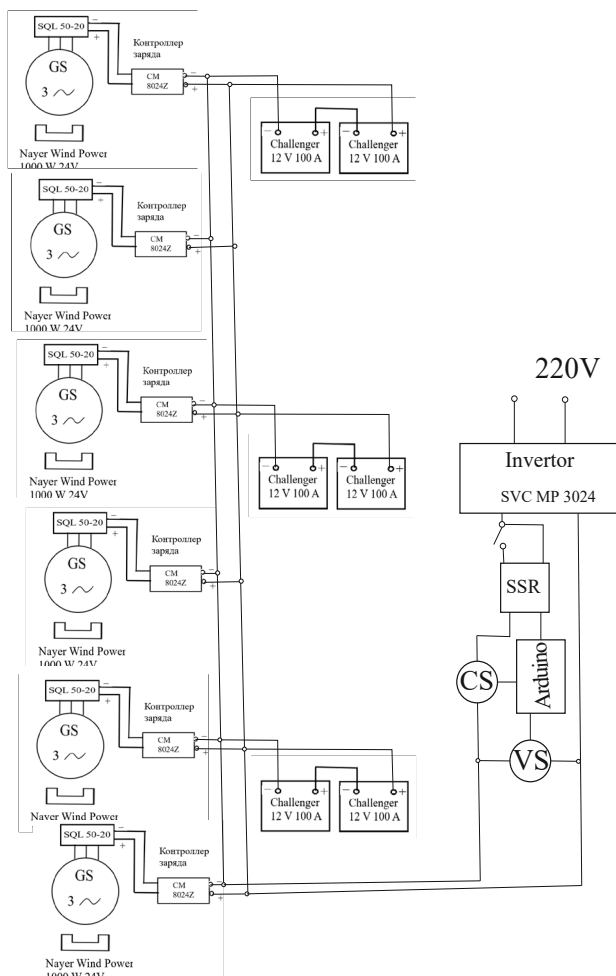


Рисунок 2 – Принципиальная схема системы генерирования и аккумулярования

Вращения генераторов большую часть времени являются не стабильными и в случайной степени различаются как по частоте и

напряжению, так и по сдвигу фаз. Объединение генераторов переменного тока является очень проблематичным, т.к. существование амплитуды, частоты и сдвига фаз требует контроля каждого параметра. Наиболее сложным является синхронизация всех фаз каждого источника переменного тока. Учитывая, что генераторы могут иметь различную входную механическую нагрузку в разные моменты времени, и смещение всех характеристик тока, запараллеливание генераторов переменного тока становится очень дорогостоящей задачей. В следствие этого предлагается использовать преобразование переменного трехфазного тока в постоянный с помощью выпрямителей SQL 50-10 с дальнейшим соединением генераторов выпрямленными одноименными полюсами в параллельном режиме по схеме представленной на рисунке 2. На этой схеме также представлены аккумулирующая система составленная из последовательно соединенных через контроллеры CM 8024 12/24V80A аккумуляторами.. Одноименные цепи от генераторов и от аккумуляторов подключаются к клеммам инвертора SVC MP 3024, с выхода которого переменное напряжение 220 В подается потребителю. Одной из особенностей данной системы является то, что предусматриваются дополнительные элементы для защиты аккумуляторов от глубокой разрядки. Для этого предусмотрен автоматический контроль, чтобы напряжение на одном элементе аккумулятора было не ниже 1,15 В. Для нашей системы из аккумуляторов составленных последовательным соединением 12 элементов, контролируемое напряжение составляет $V_k=13,8$ В.

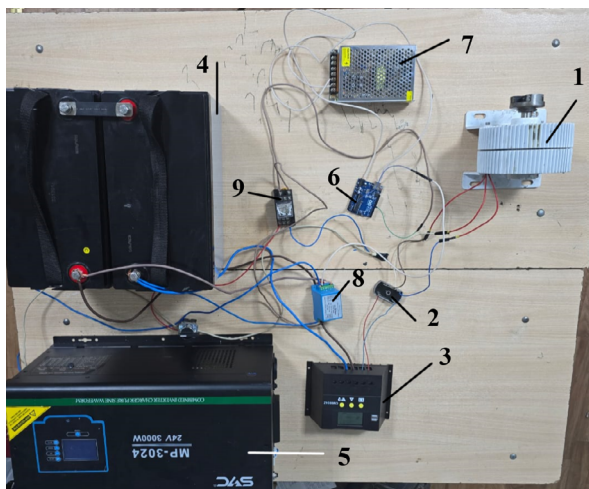


Рисунок 3 – Электрическая цепь системы генерирования и аккумулярования ПВЭС

Таким образом, включенная в систему аккумуляирования дополнительная цепь, предназначена для отключения питания потребителя от аккумуляторов. На рисунке 3 представлена электрическая цепь по принципиальной схеме, представленной на рис.2, предназначенная для проверки функционирования системы аккумуляирования и защиты аккумуляторов от глубокой разрядки. На рис.3 приняты следующие обозначения для элементов: 1-синхронный генератор, 2-выпрямитель SQL 50-10, 3- контроллер заряда CM 8024 12/24V80A, 4- аккумуляторы на 24 В, 5-инвертор SVC MP 3024. Также для защиты аккумуляторов введены элементы: 6- контроллер Arduino, 7-преобразователь напряжения 24/5 В, 8-цифровой датчик напряжения HD-T1-3U, 9-реле РЭК77/3 10А 24В. Моделирование функционирования системы аккумуляирования и системы защиты аккумуляторов проводилось путем приведения (с помощью дрели) вала генератора во вращательное движение и измерением напряжения на выходе инвертора. Система защиты срабатывала по данным $V_k=13,8$ В введенным с помощью скетча на Arduino и отключала соединение инвертора с аккумулятором с помощью реле при напряжении меньшем V_k .

Информация о финансировании

Данная научная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP26198145 «Разработка конструкций, создание модификаций и систем аккумуляирования энергии экспериментального образца автоматической парусной ветровой электростанции», финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

В связи с тем, что по технологии преобразования ветровой энергии в электрическую в опытном образце парусной ветровой электростанции используются шесть трехфазных синхронных генераторов переменного тока. Так как крутящий момент на валу генератора имеет случайный характер, генерируемый каждым генератором электрический ток отличается по характеристикам. Поэтому в статье рассматривается задача соединения этих генераторов для обеспечения стабильной электрической энергией потребителя. В статье создана принципиальная схема системы генерирования и аккумуляирования электрической энергии, основанная на преобразовании переменного генерируемого тока в постоянный и дальнейшее параллельное соединение на общую шину с электрохимическими вторичными элементами. Эта система через инвертор на выходе обеспечивает потребителя переменным электрическим током требуемой мощности. На основе разработанной схемы создана экспериментальная модель системы генерирования и аккумуляирования, содержащая подсистему автоматической защиты аккумуляторов от глубокого разряда. Проведены испытания на

экспериментальной модели. Испытания показали, что разработанная система генерирования и аккумуляирования с подсистемой защиты от глубокого разряда может быть использована в созданном опытном образце парусной ветровой электростанции

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Shkara, Y., Cardaun, M., Schelenz, R., Jacobs, G.** Aeroelastic response of a multi-megawatt upwind horizontal axis wind turbine. (HAWT) based on fluid–structure interaction simulation. // *Wind Energy Sci.* – 2020. – № 5. – P. 141–154.

2 **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(16). – P. 1926–1939. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.004>

3 **Didane, D. H., Maksud, S. M., Zulkaffi, M. F., Rosly, N., Shamsudin, S. S., Khalid, A.** Performance investigation of a small Savonius-Darrius counter-rotating vertical-axis wind turbine. // *Int. J. Energy Res.* – 2020. – Vol. 44. – P. 9309–9316.

4 **Banna, H. U., Luna, A., Ying, S., Ghorbani, H., Rodriguez, P.** Impacts of wind energy in-feed on power system small signal stability // *International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*. Milwaukee : IEEE. – 2014. – P. 615–622. – <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2014.7016459>.

5 **Chien, W., Prinn, R. G.** Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms // *Atmos. Chem. Phys.* – 2010. – Vol. 10(4). – P. 2053–2061. <https://doi.org/0.5194/acp.2010.10.2053>

6 **Kaoshan, D., Bergot, A., Liang, C., Xiang, W., Huang, Z.** Environmental issues associated with wind energy // *Renewable Energy.* – 2015. – Vol. 75. – P. 911–921. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.074>.

7 **Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, S. A.** Wind energy : Increasing deployment, rising environmental concerns // *Renewable and Sustainable Energy Rev.* – 2014. – Vol. 31. – P. 270–288. – <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.019>

8 **Sholanov, K. S.** *Parallel Manipulators of Robots : Theory and Applications.* – Springer. 2020. – 164 p.

9 **Sholanov, K. S., Kabanbayev, A., Abzhaparov, K. M.** Study and Selection of Parameters of Automatically Controlled Wind Power Station with Swaying Sails // *International journal of renewable energy research.* – 2020. – Vol. 11(2). – P. 723–737. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v10i2.10581.g7947>.

10 **Sholanov, K. S., Mirzabayev, B. I., Ceccarelli, M.** Expansibility of Electric Power Production by Sail Wind Power Stations // *International Journal of Mechanics and Control.* – 2021. – Vol. 22(02). – P. 117–126.

11 **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(02). – P. 101–110.

12 **Sholanov, K. S., Zhakipov, N. S., Omarov, A. S., Assainov, G.** Assessment of Efficiency of Mechanical Energy Conversion into Electric Power in Sail Wind Power Station // International Journal of Energy Research. – 2024. – Vol. 2024(1). – <https://doi.org/10.1155/2024/5931477>.

13 **Rajaram, R., Sathiyaraj, K.** An improved optimization technique for energy harvesting system with grid connected power for green house management // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2022. – Vol. 2022. – P. 1–13.

14 **Shekhar, H., Bhushan Mahato, C., Suman, S. K., Singh, S., Bhagyalakshmi, L., Prasad Sharma, M., Laxmi Kantha, B., Agraharam, S. K., Rajaram, A.** Demand side control for energy saving in renewable energy resources using deep learning optimization // Electric Power Components and Systems. – 2023. – Vol. 26;51(19). – P. 2397–2413.

15 **Шоланов, К. С., Токишева, Г. С., Омаров А. С., Кашкимбаева, Н. М., Исаева, Ж. Р.** Формирование данных для проектирования парусных ветровых электростанций // Вестник Торайғыров университет. – 2024. – № 2. – С. 421–433. – <https://doi.org/10.48081/YRLV5945>.

Поступило в редакцию 02.06.25.

Поступило с исправлениями 28.07.25.

Принято в печать 05.09.25.

*К. С. Шоланов¹, *Г. Ж. Асаинов², Н. Б. Жакипов³,*

Е. А. Буранбаев⁴, В. П. Марковский⁵

^{1,2,3,4}С. Сефуллина атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

⁵Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

02.06.25 ж. баспаға түсті.

28.07.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУ МЕН ЖИНАҚТАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

*Мақала желкенді желкенді жел электр станциясында (ЖЖЭС)
электрохимиялық әдіспен электр энергиясын өндіру және жинақтау*

жүйесін құруға арналған. Мақалада құрамында алты 3 фазалы синхронды айнымалы ток генераторлары бар жел желкенді электр станциясы өндіретін энергияны сақтайтын тиімді электрохимиялық жүйені құру мақсаты қойылған. Сонымен қатар, жел энергетикасында бар шешімдерді талдау негізінде жел жүктемесінің кездейсоқ сипаты, сондай-ақ әртүрлі нақты өнімділікпен бірнеше энергия генерациялау көздерінің өзара әрекеттесу мәселелері қарастырылады. Тапсырманы шешу үшін электр энергиясын генерациялау және жинақтау жүйесінің схемалық схемасы құрылды, ол генерацияланған айнымалы тоқты электрохимиялық қайталама элементтері бар жалпы шинаға тұрақты және одан әрі параллель қосылуға айналдыруға негізделген. Бұл жүйе тұтынушыны Инверторды қолдану арқылы қажетті қуаттың айнымалы тоқымен қамтамасыз етеді. Әзірленген схема негізінде аккумуляторларды терең разрядтан автоматты түрде қорғаудың ішкі жүйесі бар эксперименттік генерациялау және жинақтау жүйесі құрылды. Эксперименттік жүйенің жұмыс істеу мүмкіндігіне сынақтар жүргізілді. Сынақ нәтижелері әзірленген генерациялау және жинақтау жүйесін желкенді жел

Кілтті сөздер: желкенді жел электр станциясы, электр энергиясын жинақтау, ЖЭК, қосалқы станция, синхронды генератор.

K. S. Sholanov¹, *G. Assainov², N. B. Zhakipov³,

E. Burambayev⁴, V. P. Markovskiy⁵

^{1,2,3,4}S. Sefullin Kazakh Agrotechnical Research University

Republic of Kazakhstan, Astana;

⁵Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 02.06.25.

Received in revised form 28.07.25.

Accepted for publication 05.09.25.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED POWER GENERATION AND STORAGE SYSTEM FOR A SAILING WIND POWER PLANT

The article is devoted to the creation of a system for generating and accumulating electrical energy by the electrochemical method in an autonomous sailing wind power plant (SWPP) with a swinging sail. The aim of the article is to create an efficient electrochemical energy storage system generated by a wind-powered sailing power plant consisting of six

3-phase synchronous alternating current generators. At the same time, based on the analysis of existing solutions in the wind energy industry, the random nature of the wind load is considered, as well as the problems of interaction between several sources of energy generation with different actual performance. To solve this problem, a schematic diagram of the electric energy generation and storage system was created, based on the conversion of alternating generated current into direct current and further parallel connection to a common bus with electrochemical secondary elements. This system provides the consumer with an alternating electric current of the required power through the use of an inverter. Based on the developed scheme, an experimental generation and storage system has been created, containing a subsystem for automatic protection of batteries from deep discharge. The experimental system has been tested for the possibility of functioning. The test results showed that the developed generation and storage system can be used in the created prototype of a sailing wind power plant.

Keywords: sailing wind power plant, electric energy storage, renewable energy sources, substation, synchronous generator.

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 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

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«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