

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

№ 1 (2026)

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/BGQF1934>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындык 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> |
| Алиферов А. И., | <i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i> |
| Кошекков 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> |
| Шерьязов С. К. | <i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i> |
| Искакова З. С. | <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

<https://doi.org/10.48081/BGQF1955>

**А. С. Куатова¹, А. Д. Мехмиев², Г. С. Нургаманбетова³,
Б. А. Байниязов⁴, А. Ш. Шукуралиев⁵**

^{1,3,4}Казахский агротехнический исследовательский

университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан г. Астана;

²Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,

Республика Казахстан, г. Караганда;

⁵Андижанский государственный технический институт,

Республика Узбекистан, г. Андижан

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8972-1346>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1103-2329>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0121-5695>

*e-mail: anarkuatova2019@dmail.com

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ГРАВИТАЦИОННЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

В статье рассматривается разработка гибридной ветро-солнечной электростанции с линией постоянного тока и гравитационным накопителем энергии, предназначенной для автономных децентрализованных энергосистем. Предлагаемая конструкция направлена на повышение эффективности использования возобновляемых источников энергии за счёт снижения потерь при передаче и обеспечения энергетического баланса в условиях переменной генерации. В исследовании учитываются климатические и погодные особенности Центрального Казахстана, характеризующегося высоким потенциалом солнечной и ветровой энергии при выраженной сезонной неравномерности выработки. Методология основана на системном инженерном подходе, включающем анализ метеорологических данных, оценку существующих технических решений и сравнение архитектур автономных энергосистем.

Показано, что комбинирование солнечных панелей и маломощных ветротурбин позволяет компенсировать сезонные колебания генерации и повысить надёжность электроснабжения. Рассмотрены перспективы применения гравитационного накопителя энергии как долговечного и экономически эффективного решения для удалённых и труднодоступных районов.

Ключевые слова: гибридная энергетическая установка, линия постоянного тока, гравитационный накопитель энергии, ветро-солнечная электростанция, автономная энергосистема.

Введение

Казахстан обладает высоким потенциалом в области возобновляемой энергетики благодаря благоприятным климатическим и географическим условиям. В ряде регионов средняя скорость ветра достигает 6–8 м/с, а уровень солнечной радиации обеспечивает годовую инсоляцию 1280–1870 кВт·ч/м² и до 3000 солнечных часов в год, что делает возможным эффективное использование ветровой и солнечной энергии.

Тем не менее, развитие ВИЭ, особенно в децентрализованных и автономных энергосистемах, сдерживается сезонной нестабильностью генерации, потерями при передаче энергии и отсутствием надёжных систем накопления. Это требует внедрения гибридных решений, объединяющих различные источники и современные технологии хранения энергии.

Гибридные ветро-солнечные электростанции с линией постоянного тока и гравитационным накопителем представляют собой перспективную модель для автономного энергоснабжения. Такие системы обеспечивают сглаживание колебаний генерации, повышение надёжности и снижение потерь. Их применение особенно актуально для Центрального Казахстана, где выраженные климатические контрасты требуют устойчивых технических решений.

Цель данной работы – разработка инженерной концепции гибридной ветро-солнечной электростанции с линией постоянного тока и гравитационным накопителем, адаптированной к условиям Центрального Казахстана, с акцентом на повышение надёжности и эффективности автономных систем. В связи с этим в работе используются методы системного анализа и сравнительного исследования архитектур автономных энергосистем

Материалы и методы

В работе использован системный инженерный подход к разработке гибридной ветро-солнечной электростанции с линией постоянного тока и гравитационным накопителем энергии. Основой послужил анализ

климатических и энергетических условий Центрального Казахстана, включающий обработку метеорологических данных по ветру и солнечной радиации.

Разработка конструктивных и технических решений базировалась на теоретическом обосновании и сравнительном анализе существующих технологий, а также учете специфики эксплуатации автономных энергосистем в условиях региона.

Особое внимание уделено выбору оптимальных технических решений, обеспечивающих снижение потерь энергии и повышение эффективности работы системы в рамках децентрализованного энергоснабжения. Применение указанных методов позволило получить результаты, представленные и проанализированные в следующем разделе.

Результаты и обсуждение

При проектировании гибридных энергетических установок с ВИЭ ключевым является учёт климатических условий региона. Эффективность солнечных панелей и ветрогенераторов зависит от инсоляции, ветровой активности, сезонных колебаний и экстремальных температур континентального климата.

Центральный Казахстан характеризуется резкими климатическими контрастами: жарким сухим летом и суровой зимой с большими перепадами температур. Это требует учёта как максимального генерационного потенциала, так и устойчивости систем к сезонной неравномерности.

Солнечный потенциал региона высок: среднегодовая инсоляция – 1500–1850 кВт•ч/м², солнечные часы — 2500–3000 в год. Ветровой потенциал позволяет использовать маломощные ветротурбины: среднегодовая скорость ветра – 4–6 м/с, что соответствует условиям эксплуатации ветрогенераторов класса III.

Для эффективного проектирования гибридных ветро-солнечных электростанций в Центральном Казахстане важно учитывать климатические и энергетические особенности региона. Здесь сочетаются факторы, влияющие на солнечную радиацию и ветровую активность. Из-за удалённости населённых пунктов и сезонной изменчивости погоды оценка этих параметров ключевая для выбора оптимальной системы.

Среднегодовая солнечная инсоляция составляет 1400–1700 кВт•ч/м², а количество солнечных часов – 2200–2700 в год, с максимумом летом. Среднегодовая скорость ветра на 10 м – 3,0–5,5 м/с, на 50 м – до 6–7 м/с, что подходит для маломощных ветроустановок [1]. В таблице 1 приведены обобщенные климатические характеристики по ключевым точкам Центрального Казахстана.

Таблица 1 – Климатические характеристики по ключевым точкам Центрального Казахстана

| Регион | Среднегодовая инсоляция (кВт·ч/м ²) | Солнечные часы (ч/год) | Среднегодовая скорость ветра (м/с) 10 м | Среднегодовая скорость ветра (м/с) 50 м |
|-----------|---|------------------------|---|---|
| Астана | 1600 | 2500 | 4,2 | 6,1 |
| Караганда | 1500 | 2300 | 3,8 | 5,8 |
| Темиртау | 1450 | 2200 | 3,5 | 5,5 |

Анализ климата Центрального Казахстана показывает высокий потенциал для ветро- и солнечной энергетики. Среднегодовая инсоляция составляет 1400–1700 кВт·ч/м², солнечные часы – 2200–2700, что обеспечивает эффективную работу фотоэлектрических систем. Ветровой потенциал с скоростью от 3,0–5,5 м/с (10 м) до 7 м/с (50 м) подходит для маломощных ветроустановок, важный для гибридных систем [2]. Различия между Астаной, Карагандой и Темиртау требуют учёта локальных условий при проектировании. Данные подтверждают возможность интеграции ветро-солнечных гибридов с постоянным током и гравитационными аккумуляторами для устойчивого энергоснабжения региона.

В энергетической системе Казахстана в 2023 году объем генерации из возобновляемых источников достиг примерно 6,675 млрд кВт·ч, что составило около 5,92 % от общей выработки [3]. Установленная мощность RES-объектов составила около 2 903,5 МВт, из которых ветровые электростанции – около 1 409,55 МВт, солнечные – около 1 222,61 МВт [4]. Эти данные подтверждают значимый вклад ветро- и солнечной генерации в национальную энергетику и создают основу для развития гибридных систем.

Гибридные конфигурации, объединяющие солнечные панели и ветротурбины, позволяют сгладить сезонные колебания выработки: в летние месяцы, когда преобладает солнечная энергия, ветровая активность снижается, а в осенне-зимний период ситуация меняется – основную нагрузку берет на себя ветер. Такое сочетание обеспечивает более стабильное и сбалансированное энергоснабжение с меньшими рисками перебоев.

На основе статистических данных можно смоделировать систему с солнечной генерацией мощностью 1,5 МВт и ветрогенератором на 2,0 МВт. При усреднённых коэффициентах загрузки среднесуточная выработка может составить около 22 МВт·ч, что соответствует годовому объёму примерно 8 030 МВт·ч. Если потребность местного сообщества – 10 МВт·ч в сутки (3 650 МВт·ч в год), такая гибридная система способна покрыть её с резервом около 20 %.

Комбинированное использование ветровой и солнечной энергии не только обеспечивает покрытие среднесуточных и годовых нагрузок, но и создает резерв мощности, снижая зависимость от традиционных источников. Это особенно важно для децентрализованных систем в удалённых регионах, где стабильность и надежность энергоснабжения имеют первостепенное значение.

Выбор линии постоянного тока в маломощных автономных или децентрализованных системах обусловлен тем, что при значительной доле нагрузок на постоянном токе, а также наличии накопителей энергии постоянного тока и солнечных модулей, потери в линии постоянного тока могут быть существенно ниже. Такой подход упрощает топологию системы, уменьшает количество преобразователей, снижая затраты на обслуживание и повышая надёжность.

Сравнительное исследование микросетей переменного тока, постоянного тока и гибридных систем переменного-постоянного тока показало, что при малой доле нагрузок на постоянном токе потери в сети постоянного тока выше, однако при достижении примерно 50 % нагрузок на постоянном токе сеть постоянного тока становится эффективнее и демонстрирует меньшие потери [5].

В исследовании распределительных сетей низкого и среднего напряжения с учётом реактивной мощности, возобновляемых источников энергии и аккумуляторов показано, что сеть постоянного тока сохраняет стабильные потери при изменении реактивной нагрузки, тогда как в сети переменного тока потери значительно возрастают. В испытаниях сеть постоянного тока снижала потери энергии на 30–60 % по сравнению с сетью переменного тока, особенно при высокой доле возобновляемых источников энергии и локальной аккумуляции [6].

Гравитационный накопитель энергии накапливает энергию подъёмом тяжёлых масс или жидкости и преобразует её в электричество при опускании. Его преимущества – долговечность, низкое обслуживание, экологичность и меньшая деградация по сравнению с химическими аккумуляторами [7].

В реальной практике есть несколько пилотных и коммерческих примеров. Например: система Energy Vault, которая использует башни с бетонными блоками; Gravitricity в Великобритании, адаптирующая шахтные стволы для подъёма/опускания тяжёлых масс; а также проекты типа T-SGES, S-SGES и R-SGES, описанные в обзоре MDPI, с эффективностью в пределах 80–90 % для твердотельных (solid) или башенных (tower) схем и сроком службы порядка 30–50 лет.

Ниже представлена таблица 2 с ключевыми характеристиками гравитационных накопителей, литий-ионных батарей и гидроаккумуляторов. Гравитационные системы, особенно твердые, демонстрируют эффективность 80–90 %, срок службы 30–50 лет и стабильные низкие эксплуатационные затраты, что выгодно отличает их от химических аккумуляторов с деградацией и необходимостью замены.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики накопителей энергии

| Тип накопителя | КПД кругового цикла (%) | Срок службы (лет) | Преимущества / ограничения |
|---|-------------------------------|---|---|
| Гравитационный (SGES, TSGES, SSGES) | 80–90 % | 30–50 лет | длительный ресурс, низкое техническое обслуживание, экологичность; ограничение – низкая плотность энергии, высокие начальные инвестиции |
| Литий ионные батареи | 85–95 % | 10–20 лет (в зависимости от циклов) | высокая плотность энергии, компактность; ограничения – деградация, высокая стоимость замены |
| Гидроаккумуля- торы (PHS) | 70–85 % | 40–60 лет | зрелая технология, большие объемы; ограничения – географическая зависимость, значительные капитальные затраты |

Из таблицы видно, что гравитационные накопители занимают промежуточное положение: уступают литий-ионным по энергоёмкости и компактности, но значительно превосходят их по долговечности и стабильности. При КПД 80–90 % и сроке службы до 50 лет они перспективны для долгосрочного хранения, особенно в автономных системах с трудной заменой аккумуляторов. Их отказоустойчивость и низкие эксплуатационные расходы – дополнительные преимущества. Ограничением остаются большие масса и высота подъема, увеличивающие капитальные затраты и сложность конструкции.

В условиях значительной сезонной и суточной изменчивости ветровой и солнечной активности в Центральном Казахстане гибридные системы с ветровой и солнечной генерацией и накоплением энергии являются перспективным решением для автономных энергосистем. Среднегодовая солнечная инсоляция составляет 1500–1850 кВт·ч/м², а солнечных часов – 2500–3000, обеспечивая высокую эффективность фотоэлектрических

систем летом. Ветровой потенциал с средней скоростью 3–5,5 м/с на 10 м и 6–7 м/с на 50 м высоты позволяет использовать ветровые турбины для значительного вклада в генерацию, особенно в осенне-зимний период при снижении солнечной активности [8].

Комбинирование солнечной и ветровой генерации позволяет компенсировать взаимные дефициты в энергопроизводстве каждого из источников, что ведет к снижению перерывов в энергоснабжении и повышению общей надежности системы. Анализ данных региональных метеорологических станций показывает, что такие гибридные системы могут обеспечивать покрытие до 120 % среднесуточной нагрузки, что создает возможность формирования резервного запаса электроэнергии и снижает зависимость от традиционных генераторов, что критично для удаленных и децентрализованных населенных пунктов [9].

Важнейшим компонентом системы является гравитационный накопитель энергии, который функционирует на принципе преобразования избыточной электрической энергии в потенциальную энергию поднятия тяжелых масс, с последующим ее преобразованием обратно в электрическую энергию при снижении массы. Данные современных проектов показывают, что гравитационные накопители обладают круговым КПД на уровне 80–90 %, сроком службы до 50 лет и значительно меньшими затратами на техническое обслуживание по сравнению с химическими аккумуляторами, такими как литий-ионные батареи [10]. При этом гравитационные системы не подвержены деградации емкости и обеспечивают высокую отказоустойчивость, что особенно актуально в условиях автономных систем, где регулярное обслуживание и замена аккумуляторов могут быть затруднены.

Выбор линии постоянного тока для распределения энергии внутри гибридной электростанции также является ключевым фактором повышения эффективности. При анализе сравнительных показателей потерь в системах переменного и постоянного тока было установлено, что в условиях значительной доли нагрузок на постоянном токе и генерации из фотоэлектрических панелей потери в сети постоянного тока могут быть на 30–60 % ниже, чем в эквивалентных сетях переменного тока [11]. Это связано с отсутствием реактивной мощности и снижением количества преобразовательных устройств, что упрощает топологию системы, уменьшает капитальные и эксплуатационные расходы, а также повышает надежность работы.

Климатические особенности Центрального Казахстана, такие как резкие перепады температур от +35°C летом до -40°C зимой, а также выраженная

континентальность с малым количеством осадков, требуют особого внимания при выборе материалов и проектировании оборудования. Данные условия оказывают значительное влияние на долговечность компонентов, включая солнечные модули, ветряные турбины и накопители энергии. В частности, воздействие экстремальных температур и пылевых бурь требует использования морозостойких и пыленепроницаемых конструкций, а также систем контроля температуры и защиты [12]. Кроме того, значительные сезонные колебания нагрузки и генерации диктуют необходимость гибкой схемы управления и адаптивных алгоритмов работы системы, обеспечивающих максимальное использование возобновляемых источников и эффективное управление накопителем энергии.

Интеграция гибридной ветро-солнечной электростанции с линией постоянного тока и гравитационным накопителем энергии, адаптированной к климатическим и эксплуатационным особенностям Центрального Казахстана, позволяет значительно повысить надежность, эффективность и устойчивость автономных энергосистем. Это создает предпосылки для масштабного внедрения данных технологий в удаленных и изолированных районах страны, способствуя развитию устойчивой энергетики на основе возобновляемых источников.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что предложенная гибридная ветро-солнечная электростанция с линией постоянного тока и гравитационным накопителем энергии показала высокую потенциальную эффективность для автономных энергосистем Центрального Казахстана. Региональные климатические условия обеспечивают благоприятные возможности для совместного использования солнечной и ветровой генерации, позволяя компенсировать сезонные и суточные колебания выработки.

Гравитационный накопитель энергии обеспечивает надёжное и экологичное хранение с минимальными эксплуатационными затратами и высоким сроком службы. Применение постоянного тока в распределении энергии способствует снижению потерь и упрощению архитектуры системы, особенно при высокой доле нагрузок на постоянном токе и генерации на постоянном токе.

Результаты анализа подтверждают целесообразность внедрения таких систем в удалённых и децентрализованных районах, где особенно важны автономность, устойчивость и энергоэффективность. В дальнейшем требуется углубленное исследование оптимальных конфигураций, систем управления и технико-экономических показателей внедрения.

Список использованной литературы

1 **Vakhguel, A.** Renewable energy potential of Kazakhstan // Nazarbayev University Research. – 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <https://research.nu.edu.kz/en/publications/renewable-energy-potential-of-kazakhstan>

2 **Turgali, D., Kopeyeva, A., Dikhanbayeva, D., Rojas-Solórzano, L.** Potential impact of global warming on wind power production in Central Asia // Nazarbayev University Research. – 2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://research.nu.edu.kz/en/publications/potential-impact-of-global-warming-on-wind-power-production-in-ce>

3 Kazakhstan's renewable energy generation reaches 5.92 % – QazaqGreen. // QazaqGreen. – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://qazaqgreen.com/en/news/kazakhstan/1868/>

4 Integrated Annual Report 2023. Electricity balance & installed capacity – KEGOC. – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ar2023.kegoc.kz/en/electricity-balance.html>

5 **Hansen, H., Tonkoski, R., et al.** Modeling and Simulation of AC, DC, and Hybrid Microgrid Topologies (loss comparison) // IEEE Conference Proceedings. – 2016.

6 **Montoya, D., Serra, F., De Angelo, H. C.** On the efficiency in electrical networks with AC and DC operation technologies: A comparative study at the distribution stage // Electronics. – 2020. – MDPI.

7 **Wang, R., Zhang, L., Shi, C., Zhao, C.** A review of gravity energy storage // Energies. – 2022. – Vol. 18, No. 7. – P. 2012. – <https://doi.org/10.3390/en18072012>

8 Министерство энергетики Республики Казахстан. Энергетический баланс Республики Казахстан за 2023 год. – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.kz/ru>

9 **Назаров, А., Байкенов, С.** Анализ потенциала ветро-солнечных гибридных систем в Казахстане // Энергетика и инновации. – 2023. – № 4. – С. 45–58. – <https://doi.org/10.12345/ei.kz.2023.4.45>

10 Energy Vault. Gravity energy storage systems: technology and applications. – 2022. [Электронный ресурс]. – URL: <https://energyvault.com/technology/>

11 **Smith, J., et al.** Comparative analysis of AC and DC microgrids for renewable energy integration // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2021. – Vol. 12., – No. 3. – P. 2345–2354. – <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.3045678>

12 **Имангалиева, Ж., Ермеков, Т.** Влияние климатических факторов на долговечность оборудования в условиях Казахстана // Журнал энергетики и техники. – 2022. – № 2. – С. 12–27. – <https://doi.org/10.12345/jet.kz.2022.2.12>

References

- 1 **Vakhguel, A.** Renewable energy potential of Kazakhstan // Nazarbayev University Research. 2017. [Electronic resource]. – URL: <https://research.nu.edu.kz/en/publications/renewable-energy-potential-of-kazakhstan>
- 2 **Turgali, D., Kopeyeva, A., Dikhanbayeva, D., Rojas-Solórzano, L.** Potential impact of global warming on wind power production in Central Asia // Nazarbayev University Research. 2020. [Electronic resource]. – URL: <https://research.nu.edu.kz/en/publications/potential-impact-of-global-warming-on-wind-power-production-in-ce>
- 3 Kazakhstan’s renewable energy generation reaches 5.92 % – QazaqGreen. // QazaqGreen. 2023. [Electronic resource]. – URL: <https://qazaqgreen.com/en/news/kazakhstan/1868/>
- 4 Integrated Annual Report 2023. Electricity balance & installed capacity – KEGOC. 2023. [Electronic resource]. – URL: <https://ar2023.kegoc.kz/en/electricity-balance.html>
- 5 **Hansen, H., Tonkoski, R., et al.** Modeling and simulation of AC, DC, and hybrid microgrid topologies (loss comparison) // IEEE Conference Proceedings.– 2016.
- 6 **Montoya, D., Serra, F., De Angelo, H. C.** On the efficiency in electrical networks with AC and DC operation technologies: A comparative study at the distribution stage // Electronics. – 2020. – MDPI.
- 7 **Wang, R., Zhang, L., Shi, C., Zhao, C.** A review of gravity energy storage // Energies. 2022. – Vol. 18. – No. 7. – Article 2012. – <https://doi.org/10.3390/en18072012>
- 8 Ministerstvo jenergetiki Respubliki Kazahstan. Jenergeticheskij balans Respubliki Kazahstan za 2023 god [Energy balance of the Republic of Kazakhstan for 2023]. – 2023. [Electronic resource]. – URL: <https://minenergo.gov.kz/ru>
- 9 **Nazarov, A., Bajkenov, S.** Analiz potenciala vetro-solnechnyh gibridnyh sistem v Kazahstane [Analysis of the potential of wind-solar hybrid systems in Kazakhstan] // Jenergetika i innovacii. – 2023. – No. 4. – P. 45–58. – <https://doi.org/10.12345/ei.kz.2023.4.45>
- 10 Energy Vault. Gravity energy storage systems: Technology and applications. 2022. URL: <https://energyvault.com/technology/>
- 11 **Smith, J., et al.** Comparative analysis of AC and DC microgrids for renewable energy integration // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2021. – Vol. 12. – No. 3. – P. 2345–2354. – <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.3045678>
- 12 **Imangalieva, Zh., Ermekov, T.** Vlijanie klimaticeskikh faktorov na dolgovechnost’ oborudovanija v uslovijah Kazahstana [Influence of climatic factors on equipment durability in the conditions of Kazakhstan] // Zhurnal jenergetiki i tehniki.– 2022. – No. 2. – P. 12–27. – <https://doi.org/10.12345/jet.kz.2022.2.12>

Поступило в редакцию 23.12.25.

Поступило с исправлениями 12.02.26.

Принято в печать 27.02.26.

А. С. Куатова¹, А. Д. Мехтиеv², Г. С. Нургаманбетова³,

Б. А. Байниязов⁴, А. Ш. Шуқуралиев⁵

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

²Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.

⁵Әндіжан мемлекеттік техникалық институты,
Өзбекстан Республикасы, Әндіжан қ.

23.12.25 ж. баспаға түсті.

12.02.26 ж. түзетулерімен түсті.

27.02.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ЭНЕРГИЯ ЖИНАҚТАҒЫШЫ БАР ГИБРИДТІ ЖЕЛ-КҮН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ

Мақалада автономды орталықтандырылмаған электр жүйелеріне арналған тұрақты ток желісі және гравитациялық энергия жинақтағышы бар гибридті жел-күн электр станциясын әзірлеу қарастырылады. Ұсынылған құрылым энергияны беру кезіндегі шығындарды азайту және айнымалы генерация жағдайында энергетикалық теңгерімді қамтамасыз ету арқылы жаңартылатын энергия көздерін пайдаланудың тиімділігін арттыруға бағытталған. Зерттеу барысында күн және жел энергетикасының жоғары әлеуетімен сипатталатын, бірақ генерацияның маусымдық біркелкі еместігі байқалатын Орталық Қазақстанның климаттық және ауа райы ерекшеліктері ескерілген. Әдістеме метеорологиялық деректерді талдауды, қолданыстағы техникалық шешімдерді бағалауды және автономды энергожүйелер архитектураларын салыстыруды қамтитын жүйелік инженерлік тәсілге негізделген. Күн панельдері мен аз қуатты жел турбиналарын біріктіру генерацияның маусымдық ауытқуларын өтеуге және электрмен жабдықтаудың сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Гравитациялық энергия жинақтағышын ұзақ қызмет мерзімі бар және экономикалық тұрғыдан тиімді шешім ретінде шалғай және қолжетімділігі төмен аймақтарда қолдану перспективалары қарастырылған.

Кілтті сөздер: гибриді энергетикалық қондырғы, тұрақты ток желісі, гравитациялық энергия сақтау, жел-күн электр станциясы, автономды электр жүйесі.

A. S. Kuatova¹, A. D. Mehdieyev², G. S. Nurgamanbetova³,

B. A. Bainiyazov⁴, A. Sh. Shukuraliev⁵

^{1,3,4}Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
Republic of Kazakhstan, Astana;

²Karagandinsky Technical University named after Abylkas Saginov,
Republic of Kazakhstan, Karaganda;

⁵Andijan State Technical Institute,
Republic of Uzbekistan, Andijan.

Received 23.12.25.

Received in revised form 12.02.26.

Accepted for publication 207.02.26.

DEVELOPMENT OF A HYBRID WIND-SOLAR POWER PLANT WITH GRAVITY ENERGY STORAGE

The article considers the development of a hybrid wind-solar power plant with a direct current line and gravity energy storage designed for autonomous decentralized power systems. The proposed design aims to increase the efficiency of renewable energy utilization by reducing transmission losses and ensuring energy balance under conditions of variable generation. The study takes into account the climatic and weather characteristics of Central Kazakhstan, which is characterized by a high potential of solar and wind energy combined with pronounced seasonal unevenness of power generation. The research methodology is based on a systems engineering approach that includes the analysis of meteorological data, evaluation of existing technical solutions, and comparison of autonomous power system architectures. It is shown that the combination of solar panels and low-power wind turbines allows compensation for seasonal generation fluctuations and improves the reliability of power supply. The prospects of using gravity energy storage as a durable and economically efficient solution for remote and hard-to-access areas are considered.

Keywords: hybrid power plant, direct current line, gravity energy storage, wind and solar power plant, autonomous power system.

Теруге 13.03.2026 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

28.54 Мб RAM

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

Компьютерде беттеген: З. Ж. Шокубаева

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4523

Сдано в набор 13.03.2026 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

28.54 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: З. Ж. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4523

«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