

УДК 33**Использование гибридной энергетической системы для генерации, хранения и распределения электроэнергии****Агафонов Дмитрий Михайлович**

Аспирант,
Московский финансово-промышленный университет «Синергия»,
125190, Российской Федерации, Москва, Ленинградский пр-кт, 80;
e-mail: agafonowork@ya.ru

Аннотация

В статье рассматривается актуальная проблема, заключающаяся в поиске экономически выгодных и экологически чистых источников энергии для производства электроэнергии. Традиционные источники энергии постепенно исчерпываются, поэтому необходимо переходить на возобновляемые источники, такие как солнце, ветер, биомасса, водород и другие. Для эффективного использования возобновляемых источников энергии применяются гибридные системы и системы хранения энергии. Важной задачей является снижение выбросов и декарбонизация энергии. Использование гибридных систем возобновляемой энергии солнечного и ветрового типа продолжает увеличиваться с каждым днем и показывает масштабное развитие в течении нескольких десятилетий для производства электроэнергии по всему миру. Гибридные системы возобновляемой энергии солнечного и ветрового типа привлекают все больше внимания, потому что они могут становиться более экономичными, экологически чистыми и могут быть установлены в распределенном порядке. Однако вызовом при использовании солнечной и ветровой энергии является их нестабильность; обычно они дополняются аккумуляторами хранения энергии.

Для цитирования в научных исследованиях

Афанов Д.М. Использование гибридной энергетической системы для генерации, хранения и распределения электроэнергии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 7А. С. 89-100.

Ключевые слова

Возобновляемые источники энергии, гибридные системы, системы хранения энергии, солнечная фотоэлектрическая энергия, ветроэнергетика, декарбонизация энергии, энергоэффективность, изменение климата, экологические задачи.

Введение

Использование возобновляемых источников энергии имеет большое значение для всего мира, поскольку мировое энергопотребление растет, а традиционных источников энергии уже недостаточно для удовлетворения потребностей в энергии. Таким образом есть угроза развития энергетического кризиса. В последние годы увеличение цен на ископаемые виды топлива и опасения о последствиях выброса парниковых газов для окружающей среды возродили интерес к развитию альтернативных источников энергии. В настоящее время возобновляемая энергия считается более предпочтительным источником топлива, чем ядерная энергия, благодаря отсутствию риска катастрофы [Панкратьева, Резак, Червякова, 2021]. Учитывая, что основным компонентом парниковых газов является углекислый газ, существует общемировая озабоченность по сокращения выбросов углерода. В этой связи могут применяться различные политические подходы для сокращения выбросов углерода, такие как повышение развертывания возобновляемых источников энергии и поощрение технологических инноваций. Существуют различные источники возобновляемой энергии, такие как солнечная, биомасса, ветер, водород, топливные элементы, нанокompозиты и суперконденсаторы. Каждый из этих источников энергии подходит для конкретных географических мест и может быть приспособлен к региону. Однако изменчивость солнечной радиации и скорости ветра, вызванная климатическими и погодными условиями, ограничивает стабильную работу систем возобновляемой энергии, что приводит к колебанию выходной мощности. Гибридная система генерации энергии из возобновляемых источников может быть высокоэффективной путем комбинирования нескольких источников энергии и рассматривается как многообещающее решение для преодоления этой проблемы. Гибридные солнечные системы представляют собой системы, объединяющие два возобновляемых источника энергии, таких как солнечная и ветровая энергия. Затем энергия генерируется через солнечные панели в солнечные дни и когда солнца мало, но есть ветер, энергия может быть получена через него. Цель исследования заключается в создании гибридной солнечно-ветровой электростанции с оптимальным использованием возобновляемых энергетических ресурсов с поддержкой технологии батарейного энергосбережения. Мотивирующим фактором, стоящим за дизайном гибридной солнечно-ветряной энергетической системы, является тот факт, что солнечная и ветровая энергетика обладают взаимодополняющими энергетическими профилями.

Выгодное сочетание солнечной и ветровой энергии с оптимальным соотношением приведет к очевидным преимуществам для гибридных солнечно-ветровых электростанций, таким как сглаживание периодических колебаний энергии, повышенная надежность и доступность. Однако потенциальные проблемы интеграции в энергосистемы не могут быть оставлены без внимания. Один из возможных вариантов решения - использование одной из технологий хранения энергии, хотя все они все еще очень дороги для таких систем, особенно в большом масштабе. Поэтому оптимальные расчеты емкости системы хранения энергии также являются важными для реализации полных преимуществ. В настоящее время технология хранения энергии в батареях считается одним из наиболее многообещающих решений для возобновляемых энергетических установок. Однако солнечно-ветровые технологии энергии наиболее подходят для автономных систем, обслуживающих удаленные районы без необходимости строительства или расширения дорогостоящей и сложной инфраструктуры электросети. В связи с этим автономные системы, использующие возобновляемые источники энергии, стали предпочтительным вариантом. Таким образом, гибридные энергетические

системы являются идеальным решением, поскольку они могут предложить существенное улучшение производительности и снижение затрат, а также могут быть адаптированы к различным требованиям конечного потребителя.

Основная часть

В современную эпоху весь мир сосредоточен на экономически выгодных и энергоэффективных источниках энергии для производства электроэнергии. Потребность в электроэнергии увеличивается по всему миру, и в основном энергия производится из традиционных источников. Но в будущем, рано или поздно все эти источники иссякнут. Поэтому возникает необходимость в альтернативных источниках энергии и более экологичном способе выработки энергии. В настоящее время возобновляемые источники энергии обладают потенциалом для их замены, и каждая страна ищет лучший подход к использованию этих источников для генерации электроэнергии. Существует множество возобновляемых источников энергии, таких как солнце, биомасса, ветер, водород, топливные элементы, нанокompозиты и суперконденсаторы. Каждый источник энергии подходит для определенных географических условий и может быть применим в разных регионах. Однако, сбор возобновляемой энергии в больших масштабах и достижение максимальной проницаемости возобновляемых источников энергии в энергетических системах считается трудоемкой задачей. Изменчивость солнечной радиации и скорости ветра, вызванная климатическими и погодными условиями, ограничивает стабильную работу систем возобновляемой энергии, что приводит к колебаниям выходной энергии.

Гибридные системы, как следует из их названия, объединяют два или более способа производства энергии, обычно используя возобновляемые технологии, такие как солнечные фотоэлементы и ветряные турбины. Гибридные системы обеспечивают высокий уровень надежности благодаря сочетанию различных методов генерации и часто используют системы хранения (аккумуляторы, топливные элементы) или маленькие генераторы, работающие на ископаемом топливе, для обеспечения максимальной надежности и безопасности энергоснабжения [Григораш, Кривошей, Смык, 2020]. Сокращение выбросов и переход к декарбонизации энергии - это две основные задачи для защиты планеты. Для достижения этой цели объединение конкурентоспособных возобновляемых источников энергии, таких как ветровая и солнечная энергия, в гибридных установках, которые могут дополняться системами хранения, оказывается эффективным инструментом для получения чистой и эффективной энергии [Михаэлидес, 2023].

В последние годы доступность солнечных панелей по более низким ценам способствует развитию солнечной фотоэлектрической (ФЭ) энергии как ведущей перспективной технологии в области возобновляемых источников энергии. Однако интеграция солнечной энергии в местные энергосети вызывает несколько сложностей из-за ее изменчивой природы. Проблемы, связанные с использованием солнечной энергии, включают генерацию нежелательных гармоник в напряжении и токе, отклонения напряжений в распределительных линиях и мерцания. Таким образом, необходимо изучить влияние проникновения ФЭ и обсудить решения, чтобы обеспечить поставку солнечной энергии в значительном объеме с максимальной надежностью и эффективностью по доступной цене. Аналогично, мощность, получаемая от ветра, также показала избыточные темпы роста [Сайт Мировой Ассоциации Ветроиндустрии, 2024, www]. Однако интеграция ветроэнергии на местных уровнях вызывает

проблемы качества электроэнергии, надежности и защиты, которые необходимо решить, чтобы обеспечить эффективную ветровую энергию по доступной цене [Кирпичникова, Соломин, 2010]. Работа взаимосвязанных энергосетей также страдает от колебания выходной мощности ветряных ферм. Периодичная природа энергии ветра ограничивает ее максимальное участие в энергетической сети.

Эффективным решением для интеграции возобновляемых источников энергии в энергосети является использование систем хранения энергии (СХЭ). Сегодня существуют различные типы СХЭ, включая батарейные системы хранения энергии (БСХЭ), топливные элементы, суперконденсаторы и системы хранения на основе маховика. Тем не менее, доступность этих СХЭ по-прежнему вызывает опасения. Среди доступных технологий батарейные СХЭ (БСХЭ) считаются одним из самых многообещающих выборов для систем возобновляемой энергии. Рабочий принцип БСХЭ заключается в сохранении избыточной энергии в периоды превышения производства энергии по сравнению с потребностью и подаче энергии обратно в энергосеть при необходимости. Таким образом, возобновляемая энергетическая система может быть сделана более экономичной путем оптимизации стоимости и размера БСХЭ. Это может быть достигнуто путем: (1) выбора менее дорогого типа хранения; (2) минимизации размера хранения; (3) и разработки эффективных процедур диспетчеризации [Технологии хранения электрической энергии, 2024, [www](#)].

Однако определение оптимальной мощности BESS является сложной задачей из-за нерегулярного характера энергии ветра и солнца. Если система хранения энергии имеет чрезмерные размеры, это приводит к ненужному увеличению стоимости установки, а также эксплуатационных расходов. С другой стороны, если размер системы хранения данных меньше требуемого, это приведет к перебоям в подаче электроэнергии, следовательно, сделает систему менее надежной. Таким образом, существует компромисс между надежностью системы и затратами, который может быть устранен только путем разработки эффективных методов оценки пропускной способности BESS. В связи с этим были проведены многочисленные исследовательские работы по оптимальному выбору размеров систем хранения данных наряду с генерирующими установками, такими как ветряные и солнечные фотоэлектрические установки [Системы хранения возобновляемой энергии для снабжения электричеством в будущем, 2023, [www](#)]. Взаимодополняющий характер этих ресурсов используется для определения оптимальной пропускной способности BESS. Однако в этой области есть много возможностей для новых исследовательских идей по минимизации операционных затрат и максимизации прибыли.

Конфигурация гибридной системы выработки электроэнергии. Конфигурации гибридной генерации электроэнергии с использованием ветровых и солнечных источников энергии привлекли большое внимание и признаны в качестве варианта доставки электроэнергии в удаленные районы. Дополнительные функции производства электроэнергии из возобновляемых источников способствовали росту гибридных систем генерации. Интегрировать неконтролируемый ресурс возобновляемых источников в существующую схему электросети - трудоемкая задача. Эти вопросы имеют первостепенное значение для обеспечения возобновляемой энергетики по доступной цене, чтобы это не оказало негативного влияния на надежность и стабильность электросети.

Гибридная ветро-солнечная конструкция обладает несколькими основными преимуществами благодаря взаимодополняющим профилям мощности как ветра, так и солнца. Поскольку непрерывное питание от этих источников с перебоями в подаче электроэнергии не

гарантируется, BESS используется для поддержки возобновляемых источников энергии или в качестве резервного, как упоминалось ранее; однако размер BESS всегда вызывает беспокойство из-за высокой стоимости. Таким образом, основной вклад этой работы заключается в представлении стратегии совместного планирования и оптимизации ветро-солнечной смеси для гибридной электростанции наряду с оптимальной мощностью BESS для удовлетворения потребности в нагрузке в данном месте. Можно найти множество недавних исследовательских работ, направленных на оценку взаимодополняемости ветра и солнца и определение оптимального размера BESS по отдельности, но одновременное планирование целостной энергосистемы с использованием обеих этих концепций является инновационным явлением, которое позволит внести вклад в развитие электроэнергетики. Подводя итог, данное исследование прямо или косвенно нацелено на следующие основные моменты:

- Оценка возобновляемых ресурсов для комбинированной солнечной и ветровой энергетики.
- Оптимальное распределение возобновляемой энергии.
- Оптимальная система накопления энергии.
- Оптимизация затрат.
- Повышение надежности.
- Снижение рисков.

В настоящее время автономные системы с использованием солнечных и ветровых ресурсов получают все большее внимание по всему миру. Однако такие системы не могут независимо производить надежную энергию из-за сезонных характеристик солнечной и ветровой энергии. Например, генерация энергии от автономной солнечной системы недоступна в пасмурные дни. Аналогичным образом, энергия, получаемая от автономной ветровой системы, имеет значительные колебания и не может удовлетворить постоянные требования нагрузки. Кроме того, возникают отклонения в частоте системы и сбои в работе при интеграции ветровой энергии. Для устранения этих проблем к системе подключается накопительно-распределительная энергосистема (НРЭС).

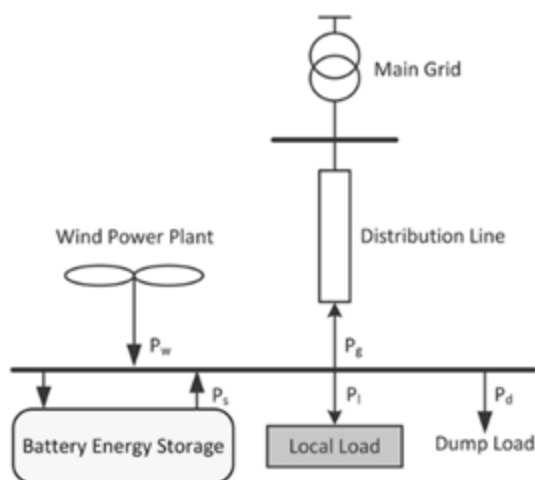


Рисунок 1 - Автономная ветроаккумулирующая система



A schematic diagram of a power distribution system. The components are numbered 1 through 8. Component 1 is a generator or transformer. Component 2 is a large battery bank. Component 3 is a solar panel array. Component 4 is a wind turbine. Component 5 is a large electrical cabinet or switchgear. Component 6 is a smaller electrical cabinet. Component 7 is another smaller electrical cabinet. Component 8 is a house. The diagram shows various interconnections between these components, including solid and dashed lines, and arrows indicating the flow of power or data.

Рисунок 3 - Применение гибридной системы генерации электроэнергии

Характеристики и компоненты гибридной системы в значительной степени зависят от применения. Наиболее важным фактором является изолированность системы или интегрирована в центральную энергосеть.

а) Гибридная система генерации, подключенная к центральной сети.

Если гибридная система подключена к центральной электросети, то конструкция до определенной степени упрощается и количество компонентов может быть уменьшено. Это связано с тем, что напряжение и частота устанавливаются системой электроснабжения и не должны контролироваться гибридной системой. Кроме того, сеть обычно обеспечивает реактивную мощность. Когда требуется больше энергии, чем поступает от гибридной системы, дефицит, как правило, может быть обеспечен за счет коммунального предприятия. Аналогично, любой избыток, производимый гибридной системой, может быть поглощен коммунальным предприятием. Однако в некоторых случаях сеть не действует как бесконечная шина. В этом случае ее называют 'слабой'. Возможно, потребуется добавить дополнительные компоненты и элементы управления. Тогда гибридная система, подключенная к сети, будет больше напоминать изолированную.

б) Система гибридной генерации с изолированной сетью.

Гибридные системы с изолированной сетью во многом отличаются от большинства систем, подключенных к центральной сети. Во-первых, они должны быть в состоянии обеспечить всю необходимую энергию в сети в любое время или найти эффективный способ снизить нагрузку, когда это невозможно. Они должны уметь устанавливать частоту сети и регулировать напряжение. Последнее требование подразумевает, что они должны быть способны обеспечивать реактивную мощность по мере необходимости. При определенных условиях возобновляемые генераторы могут производить энергию сверх того, что необходимо. Эта энергия должна каким-либо образом рассеиваться, чтобы не вносить нестабильность в систему. В основном существует два типа гибридных систем с изолированной сетью, которые включают в себя генератор возобновляемой энергии среди своих компонентов. Они известны как низкое проникновение или высокое проникновение. В этом контексте 'проникновение' определяется как мгновенная мощность от генератора возобновляемых источников энергии, деленная на общую обслуживаемую электрическую нагрузку. Низкое проникновение, составляющее порядка 20% или менее, означает, что воздействие генератора возобновляемых источников энергии на сеть незначительно и практически не требуется специального оборудования или контроля. Высокое проникновение, которое обычно составляет более 50% и может превышать 100%, означает, что воздействие генератора возобновляемых источников энергии на сеть является значительным и почти наверняка требуется специальное оборудование или контроль. Системы с высокой степенью проникновения в диспетчерское управление, так называемые «пониженные нагрузки», системы кратковременного хранения и управления нагрузкой. Две важных детали в изолированной системе заключаются в том, что может ли система иногда работать полностью на возобновляемом источнике (без включенного дизель-генератора) и может ли возобновляемый источник работать параллельно с дизель-генератором (т. е. одновременно с ним). Чаще всего возможен только один вариант. Реже возможны оба режима работы. Последняя система обеспечивает наибольшую экономию топлива, но является более сложной.

в) Изолированная или специально предназначенная гибридная система генерации

Некоторые гибридные системы используются для специальных целей, без использования реальной распределительной сети. Эти специальные цели могут включать перекачку воды,

азрацию, нагрев, опреснение или запуск измельчителей или другого оборудования. Конструкция этих систем обычно такова, что регулирование частоты и напряжения в системе не является серьезной проблемой, равно как и выработка избыточной мощности. В этих случаях энергия может быть получена при использовании обычного генератора, даже если возобновляемый источник временно недоступен. Генераторы на возобновляемых источниках энергии в небольших изолированных системах обычно не работают параллельно с генератором на ископаемом топливе [Усачева, и др., 2022].

Управление гибридными системами выработки энергии. Гибридная энергетическая система имеет сложную систему управления из-за интеграции двух или более различных источников энергии. Динамическое взаимодействие между силовой и электронной частью возобновляемых источников энергии приводит к проблемам стабильности и качества электроэнергии в системе, что делает управление сложным и комплексным. Из-за нелинейных характеристик мощности ветровые и фотоэлектрические системы требуют специальные методики для извлечения максимальной мощности. Следовательно, сложность системы управления HES возрастает с применением методов отслеживания точки максимальной мощности (MPPT) в их подсистемах. Отслеживание MPPT должно выполняться для отдельных подсистем. Анализ производительности HES может быть оценен только после анализа производительности отдельных систем. HES может быть автономным или подключенным к сети. Автономные системы, помимо генерирующих мощностей, должны иметь дополнительную емкость накопителя, достаточную для обработки нагрузки. В сетевой системе устройство хранения может быть относительно меньшим, поскольку недостающую мощность можно получить из сети. Гибридная энергетическая система, подключенная к сети, может подавать электроэнергию как на нагрузку, так и в сеть. Однако, при подключении к сети требуются соответствующие контроллеры силовой электроники для управления напряжением, частотой и гармоническими регулировками, а также распределением нагрузки. Во время работы гибридная ветро-солнечная система подвергается воздействию колеблющихся скоростей ветра и солнечной инсоляции, а также меняющегося спроса на нагрузку. Следовательно, контроллер необходим для определения того, сколько энергии доступно от каждого компонента и сколько ее использовать. Политика эксплуатации автономной ветро-солнечной гибридной системы должна использовать доступную энергию от ветряной турбины и солнечной панели в каждом подпериоде для использования первой, а избыточная энергия должна храниться в батареях. Если возобновляемой энергии недостаточно для питания нагрузки в заданном подпериоде, то сначала энергия берется из аккумуляторного хранилища, а затем через дизель-генератор (если он есть). В случае систем, где имеется дизель-генератор, батареи действуют как экономия топлива, и они используются до дизельного двигателя. Политика эксплуатации в случае гибридной системы, подключенной к сети, должна сначала использовать возобновляемую энергию, а избыточная энергия, если она имеется, должна храниться в батареях. Однако, если избыточная энергия все еще доступна, ее следует продавать в сеть. Если возобновляемой энергии недостаточно для питания нагрузки в заданном подпериоде, то сначала следует использовать батареи, а сетевое питание следует использовать, если дефицит все еще существует. Батарея в сетевой системе хранит избыточную мощность от системы выработки электроэнергии, поэтому требуется только небольшая мощность от сети [Абдали и др., 2021].

Оптимизация размера системы. Необходимое количество ветрогенераторов, солнечных модулей и аккумуляторов для заданного энергопотребления рассчитывается следующим образом: рассчитывается часовой выход энергии отдельного ветрогенератора и солнечного

модуля для типичного года с использованием скорости ветра и солнечной инсоляции на местности. Для соответствия генерации с заданным часовым нагрузочным графиком на протяжении года используется различная комбинация ветрогенераторов и солнечных модулей. Будет наблюдаться дефицит энергии в течение нескольких последовательных часов между часами избыточной генерации энергии для каждой из комбинаций. Этот кластер энергетического дефицита не может быть покрыт возобновляемыми источниками. Выбирается комбинация ветрогенератора и солнечного модуля, которая минимизирует максимальный дефицит. Размер хранилища, то есть размер аккумулятора, определяется по количеству максимального дефицита. Рассчитывается вероятность потери электроснабжения (LPSP) и общая стоимость гибридной системы возобновляемой энергии за 10 лет для каждой из этих комбинаций. Оптимальная комбинация выбирается на основе желаемой вероятности потери электроснабжения и минимальной общей стоимости системы.

Заключение

Использование гибридных систем возобновляемой энергии солнечного и ветрового типа продолжает увеличиваться с каждым днем и показывает масштабное развитие в течении нескольких десятилетий для производства электроэнергии по всему миру. Гибридные системы возобновляемой энергии солнечного и ветрового типа привлекают все больше внимания, потому что они могут становиться более экономичными, экологически чистыми и могут быть установлены в распределенном порядке. Однако вызовом при использовании солнечной и ветровой энергии является их нестабильность; обычно они дополняются аккумуляторами хранения энергии. Правильный подбор элементов системы приводит к эффективному использованию энергии из возобновляемых источников и аккумуляторного хранилища. Различные значимые аспекты системы, такие как конфигурация, применение, управление, моделирование, размеры блоков и оптимизация системы, специально направлены на генерацию гибридных солнечно-ветровых электростанций. Будущие тенденции включают разработку передовых технологий для повышения эффективности таких гибридных систем и стимулирование их внедрения. Гибридная система возобновляемой энергии имеет огромный потенциал для удовлетворения энергетического спроса отдаленных, изолированных мест и может вносить значительный вклад как в сельское, так и в городское развитие. Это в свою очередь снижает мощность центральной генерации и повышает общую надежность системы. Благодаря гибридным энергетическим установкам можно обеспечивать бесперебойное электроснабжение на нулевом уровне выбросов, что является основным преимуществом таких систем. Широкое использование гибридных систем возобновляемой энергии поможет не только решить проблемы с энергией, но и обеспечит зеленую и устойчивую планету.

Библиография

1. Панкратьева С.Г., Резак Е.В., Червякова М.В. Развитие альтернативной энергетики в мире и в России: возобновляемые источники энергии и их роль в обеспечении потребителей энергией. Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. ISSN 1999-2645. 2021. №4 (68). URL: <https://eee-region.ru/article/6820/?ysclid=lphzgbvi5b800456806> (дата обращения: 06.12.2021).
2. Клавдиенко В. П. Возобновляемая энергетика: мировые тенденции развития. Журнал Вестник Московского университета. Экономика. № 6. 2020. URL: https://msuecon.elpub.ru/jour/article/view/593?locale=ru_RU
3. Григораш О.В., Кривошей А.А., Смык В.В. Автономные гибридные электростанции. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, №. 124. 2016. С. 1441-

1452. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtonomnye-gibridnye-elektrostantsii> (дата обращения: 25.08.2024).
4. Михаэлидес, Э. Э. Декарбонизация сектора производства электроэнергии и ее влияние на цели устойчивого развития. Устойчивая энергетика 10. № 10 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40807-023-00080-1><https://rdcu.be/dRVIV>
5. Портал МакКинси & Компани. Как операторы сетей могут интегрировать грядущую волну возобновляемой энергии. 2024. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-grid-operators-can-integrate-the-coming-wave-of-renewable-energy>
6. Осадчий Г. Совместное использование солнечной и ветровой энергии для энергетики малых мощностей. Газета «Энергетика и промышленность России». 2013. №4 (216).
7. Сайт Мировой Ассоциации Ветроиндустрии (The World Wind Energy Association). URL: <http://www.wwindea.org/home/index.php>. С. 1.
8. Кирпичникова И.М., Соломин Е.В. Виброгасители мачт сверхмалых вертикально-осевых ветроэнергетических установок. Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. 2010. Т. 13. № 14 (190). С. 78–81;
9. Портал ESFC Investment Group. Технологии хранения электрической энергии. 2024. URL:<https://esfccompany.com/articles/tekhnologii/tekhnologii-khraneniya-elektricheskoy-energii/>;
10. Портал Атлас Копко Россия. Системы хранения возобновляемой энергии для снабжения электричеством в будущем 2023г. URL: <https://www.atlascopco.com/ru-ru/construction-equipment/resources/green-solutions-guide/renewable-energy-storage-to-power-the-future>;
11. Петров А., Гусаров В. Журнал Спецвыпуск «Россети». «Перспективы применения гибридных систем электроснабжения на базе альтернативных источников энергии» 2017. №1(4). URL: <https://eepir.ru/article/perspektivy-primeneniya-gibridnyh-sistem-elektrosnabzheniya-na-baze-alyternativnyh-istochnikov-energii/>;
12. Усачева И.В., Гладкая Е.А., Ландин С.В. Гибридные накопители энергии: проблемы перспективы технологий хранения энергии. Научные труды Вольного экономического общества России. 2022. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-nakopiteli-energii-problemyi-perspektivy-tehnologiy-hraneniya-energii> (дата обращения: 11.07.2024).
13. Абдали Л.М., Али К.А., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А., Коровкин Н.В. Техника искусственного интеллекта для производства энергии и автоматизация управления гибридной солнечно-ветро-дизельной энергетической системой. Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 22 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnika-iskusstvennogo-intellekta-dlya-proizvodstva-energii-i-avtomatizatsiya-upravleniya-gibridnoy-solnechno-vetro-dizelnoy> (дата обращения: 11.07.2024).
14. Фаворский Ю.П. Создание модели оптимального соотношения компонентов гибридных ветросолнечных систем электрообеспечения. АЭЭ. 2012. № 5-6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-modeli-optimalnogo-sootnosheniya-komponentov-gibridnyh-vetrosolnechnyh-sistem-elektroobespecheniya> (дата обращения: 11.07.2024).
15. Мухаммад Халид, Мохаммед Аль-Мухайни, Агилера Р. П., Савкин А.В. Метод планирования гибридной ветро-солнечно-аккумуляторной электростанции с согласованием генерации и генерации энергии Т. 12. № 15 URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-rpg.2018.5216> (дата обращения: 11.07.2024).

Using a hybrid energy system for generating, storing and distributing electricity

Dmitrii M. Agafonov

Graduate student,
Moscow Financial and Industrial University "Synergy",
125190, 80, Leningradsky Prospekt, Moscow, Russian Federation,
e-mail: agafonowork@ya.ru

Abstract

The article addresses the pressing issue of the modern world, which involves finding economically viable and environmentally clean sources of energy for electricity production.

Dmitrii M. Agafonov

Traditional energy sources are gradually depleting, necessitating a transition to renewable sources such as solar, wind, biomass, hydrogen, and others. Hybrid systems and energy storage systems are used for the efficient utilization of renewable energy sources. A crucial task is the reduction of emissions and energy decarbonization. The use of solar and wind hybrid renewable energy systems continues to increase day by day and has shown significant development over the past few decades for electricity generation worldwide. Solar and wind hybrid renewable energy systems are attracting increasing attention because they can be more cost-effective, environmentally friendly and can be installed in a distributed manner. However, the challenge of using solar and wind energy is their instability; they are usually supplemented with energy storage batteries.

For citation

Agafonov D.M. (2024) Ispol'zovaniye gibridnoy energeticheskoy sistemy dlya generatsii, khraneniya i raspredeleniya elektroenergii [Using a hybrid energy system for generating, storing and distributing electricity]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (7A), pp. 89-100.

Keywords

Renewable energy sources, hybrid systems, energy storage systems, solar photovoltaic energy, wind energy, energy decarbonization, energy efficiency, climate change, environmental challenges.

References

1. Abdali L.M., Ali K.A., Kuvshinov V.V., Bekirov E.A., Korovkin N.V. (2021) Tekhnika iskusstvennogo intellekta dlya proizvodstva energii i avtomatizatsiya upravleniya gibridnoy solnechno-vetro-dizel'noy energeticheskoy sistemoy [Construction and technogenic safety] № 22 (74). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnika-iskusstvennogo-intellekta-dlya-proizvodstva-energii-i-avtomatizatsiya-upravleniya-gibridnoy-solnechno-vetro-dizel'noy> (date of access: 11.07.2024).
2. ESFC Investment Group Portal. (2024) Tekhnologii khraneniya elektricheskoy energii. URL: <https://esfccompany.com/articles/tehnologii/tehnologii-khraneniya-elektricheskoy-energii/>;
3. Favorsky Yu.P. (2012) Sozdaniye modeli optimal'nogo sootnosheniya komponentov gibridnykh vetro-solnechnykh sistem elektroobespecheniya. AEE. № 5-6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-modeli-optimalnogo-sootnosheniya-komponentov-gibridnykh-vetro-solnechnykh-sistem-elektroobespecheniya> (date of access: 11.07.2024).
4. Grigorash O.V., Krivoshey A.A., Smyk V.V. (2016) Avtonomnyye gibridnyye elektrostantsii [Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University] № 124. P. 1441-1452. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtonomnyye-gibridnyye-elektrostantsii> (date of access: 25.08.2024).
5. Kirpichnikova I.M., Solomin E.V. (2010) Vibrogasiteli moshchnykh vertikal'no-osevykh vetroenergeticheskikh ustanovok [SUSU Bulletin] Series "Energy". Chelyabinsk: SUSU Publishing House. Vol. 13. № 14 (190). P. 78–81;
6. Klavdienko V.P. (2020) Vozobnovlyayemaya energetika: mirovyye tendentsii razvitiya. Zhurnal Vestnik Moskovskogo universiteta [Economics] № 6. URL: https://msuecon.elpub.ru/jour/article/view/593?locale=ru_RU
7. McKinsey & Company Portal. (2024) Kak operatory setey mogut integrirovat' gryadushchuyu volnu vozobnovlyayemykh energii URL: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-grid-operators-can-integrate-the-coming-wave-of-renewable-energy>
8. Michaelides E.E. Dekarbonizatsiya sektora proizvodstva elektroenergii i yeye vliyaniye na tseli ustoychivogo razvitiya [Sustainable energy] 10. № 10. <https://doi.org/10.1186/s40807-023-00080-1> <https://rdcu.be/dRVIV>
9. Muhammad Khalid, Mohammed Al-Muhaini, Aguilera R.P., Savkin A.V. (2024) Metod planirovaniya gibridnoy vetro-solnechno-akkumulyatornoy elektrostantsii s soglasovaniyem generatsii i generatsii energii. Vol. 12. № 15 URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-rpg.2018.5216> (Accessed: 11.07.2024).
10. Osadchiy G. (2013) Sovmestnoye ispol'zovaniye solnechnoy i vetrovoy energii dlya energetiki malykh moshchnostey [Newspaper "Energy and Industry of Russia"] № 4 (216).
11. Pankratyeva S.G., Rezak E.V., Chervyakova M.V. (2021) Razvitiye alternativnoy energetiki v mire i v Rossii: vozobnovlyayemye istochniki energii i ikh rol' v obespechenii potrebiteley energiyey [Regional Economics and Management: Electronic Scientific Journal] ISSN 1999-2645. № 4 (68). URL: <https://eee-region.ru/article/6820/?ysclid=lphzgbvi5b800456806> (accessed: 06.12.2021).

-
12. Petrov A., Gusarov V. (2017) Zhurnal Spetsvypusk [Rosseti] "Prospects for the Application of Hybrid Power Supply Systems Based on Alternative Energy Sources". № 1(4). URL: <https://eepir.ru/article/perspektivy-primeneniya-gibridnyh-sistem-elektrosnabzheniya-na-baze-alytemativnyh-istochnikov-energii/>;
 13. Sayt Mirovoy Assotsiatsii Vetroindustrii [The World Wind Energy Association] URL: <http://www.wwindea.org/home/index.php>. P. 1.
 14. Sistemy khraneniya vozobnovlyayemoy energii dlya snabzheniya elektrichestvom v budushchem(2023) [Atlas Copco Russia Portal] URL: <https://www.atlascopco.com/ru-ru/construction-equipment/resources/green-solutions-guide/renewable-energy-storage-to-power-the-future>;
 15. Usacheva I.V., Gladkaya E.A., Landin S.V. (2022) Gibridnyye nakopiteli energii: problemyi perspektivy tekhnologiy khraneniya energii [Scientific Works of the Free Economic Society of Russia] № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-nakopiteli-energii-problemyi-perspektivy-tehnologiy-hraneniya-energii> (date accessed: 11.07.2024).