

Куликов Толеген
инженер по телекоммуникациям

Казахстан

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АВТОНОМНЫХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЯХ

Аннотация: Данная работа посвящена применению возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных базовых станциях (БС) радиотелефонной связи, что представляет собой перспективное направление для снижения операционных расходов и негативного воздействия на окружающую среду. В обзоре рассматриваются ключевые технологические решения, такие как солнечные панели, ветряные турбины, топливные элементы, а также гибридные системы, объединяющие несколько ВИЭ и дизельные генераторы для обеспечения надежного электроснабжения. Обсуждаются потенциальные проблемы, такие как изменчивость производства энергии ВИЭ, а также предлагаются пути их решения, включая усовершенствование систем управления энергией, гибридные решения и развитие технологий хранения энергии.

Ключевые слова: автономные базовые станции, возобновляемые источники энергии, солнечные панели, ветряные турбины, гибридные системы, хранение энергии, телекоммуникации, энергоэффективность, устойчивое развитие.

Kulikov Tolegen
Telecommunications engineer
Kazakhstan

APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AUTONOMOUS BASE STATIONS

Аннотация: This work is devoted to the use of renewable energy sources (RES) in autonomous radiotelephone base stations, which is a promising direction for reducing operating costs and negative environmental impacts. The review examines key technological solutions such as solar panels, wind turbines, fuel cells, as well as hybrid systems combining multiple renewable energy sources and diesel generators to ensure reliable power supply. Potential problems such as variability in renewable energy production are discussed, and solutions are proposed, including improvements in energy management systems, hybrid solutions, and the development of energy storage technologies.

Ключевые слова: автономные базовые станции, возобновляемые источники энергии, солнечные панели, ветряные турбины, гибридные системы, хранение энергии, телекоммуникации, энергоэффективность, устойчивое развитие.

Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая, становится все более актуальным для обеспечения бесперебойной работы автономных базовых станций, особенно в удаленных и труднодоступных регионах. Традиционные методы энергоснабжения таких станций, основанные на дизельных генераторах, сопряжены с высокими эксплуатационными расходами, логистическими трудностями и негативным воздействием на окружающую среду.

В данном контексте, интеграция возобновляемых источников энергии, дополненных системами накопления энергии и интеллектуальным управлением, представляет собой эффективное решение для повышения надёжности, снижения затрат и уменьшения углеродного следа телекоммуникационной инфраструктуры. Эта статья посвящена обзору и анализу современных подходов к применению возобновляемых источников энергии в автономных базовых станциях, рассматривая их преимущества, вызовы и перспективы развития.

История развития применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных базовых станциях (БС) глубоко переплетается с эволюцией мобильной связи и потребностью обеспечить ее расширение в удаленные регионы.

В ранние этапы (1980-е – конец 1990-х) введение первой коммерческой мобильной связи в 1980-х годах побудило операторов к поиску эффективных способов обеспечения энергией их БС. Изначально, в удаленных районах, где отсутствует доступ к централизованным электросетям, единственным решением было использование дизельных генераторов. Однако, высокая стоимость топлива, затраты на транспортировку, а также проблемы с шумом и загрязнением окружающей среды стимулировали поиски альтернатив.

В конце 1980-х и начале 1990-х годов начали появляться первые пилотные проекты по использованию фотоэлектрических панелей для питания небольших телекоммуникационных узлов и ретрансляторов, в основном в регионах с высокой инсоляцией. Эти системы были относительно простыми и использовались как дополнительные источники, а не основные. Ветровые турбины также рассматривались, но их высокая стоимость, сложность в установке и обслуживании, а также переменчивость ветрового режима ограничивали их распространенность.

С началом нового тысячелетия и бурным ростом мобильной связи, особенно в развивающихся странах, где электросеть развита слабо, вопрос энергоэффективности и альтернативных источников питания стал особенно острым (2000-е – 2010-е) [2].

Особое внимание стали уделять гибридным системам, объединяющим дизельные генераторы с солнечными панелями и/или ветровыми турбинами. Это позволило значительно снизить расход дизельного топлива, сократить время работы генераторов и, соответственно, их износ, а также уменьшить эксплуатационные расходы.

Развитие литий-ионных аккумуляторов и других высокоэффективных систем хранения энергии сыграло ключевую роль. Они обеспечили более длительное хранение энергии, получаемой от ВИЭ, и позволили БС функционировать в периоды низкой производительности солнечных батарей или ветра. Усовершенствование технологий производства солнечных панелей привело к увеличению их эффективности и снижению стоимости, делая их более привлекательными для телекоммуникационной отрасли. Многие страны начали стимулировать использование ВИЭ через субсидии, налоговые льготы и ужесточение экологических стандартов, что способствовало более широкому внедрению ВИЭ в телекоммуникационном секторе.

Сегодня (2010-е – настоящее время) применение ВИЭ в автономных БС является общепринятой практикой, а не просто экспериментальным решением. Многие операторы мобильной связи стремятся к созданию полностью автономных, "зеленых" БС, которые работают исключительно на ВИЭ, интегрированных с высокоэффективными системами хранения энергии. Развитие интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) привело к созданию интеллектуальных систем управления энергопотреблением БС. Эти системы способны оптимизировать выработку, потребление и хранение энергии, прогнозировать погодные условия и потребность в энергии, минимизируя вмешательство человека (табл. 1) [3].

Таблица 1 – Применение возобновляемых источников энергии

№	Показатель	Характеристика
1	Основные виды ВИЭ	Солнечная энергия: используется солнечные панели для преобразования солнечного света в электроэнергию. Это один из самых распространенных источников для автономных систем. Ветроэнергия: ветряные турбины генерируют электричество за счет энергии ветра. Эффективны в регионах с постоянными ветрами.

		Гидроэнергия: малые гидроэлектростанции могут использоваться в реках или ручьях для генерации электроэнергии. Биомасса: использует органические материалы, которые сжигаются или перерабатываются для получения энергии.
2	Преимущества ВИЭ в автономных станциях	Экологическая чистота: минимизация выбросов углерода и других загрязняющих веществ. Энергетическая независимость: уменьшение зависимости от ископаемых ресурсов и импортируемых энергоносителей. Доступность: ВИЭ могут быть установлены в удаленных или труднодоступных местностях, где традиционные источники энергии недоступны. Снижение затрат: после первоначальных инвестиций эксплуатационные расходы могут быть значительно ниже, чем у традиционных источников энергии.
3	Интеграция с системами хранения энергии	Для обеспечения стабильного энергоснабжения необходимо использование систем хранения (например, аккумуляторных батарей). Они помогают сгладить колебания в производстве электроэнергии.
4	Примеры применения	Автономные дома: использование солнечных панелей и ветровых турбин для обеспечения электроэнергией. Полевые лагеря: временные установки с ВИЭ для обеспечения работы исследовательских и строительных проектов. Сельское хозяйство: применение солнечных систем для орошения или питания сельскохозяйственной техники.
5	Будущее ВИЭ в автономных станциях	С развитием технологий и снижением цен на оборудование, применение ВИЭ будет только расширяться. Ожидается, что интеграция с умными сетями и системами управления энергией станет ключом к улучшению эффективности и надежности автономных энергетических систем.

Наблюдается тенденция к созданию мини-гридов, когда БС становится частью более крупной энергетической системы, обеспечивающей электроэнергией не только саму станцию, но и прилегающие к ней поселения. Изучаются и внедряются новые, менее традиционные источники энергии, такие как микро-гидроэлектростанции, геотермальная энергия и даже термоэлектрические генераторы, для специфических условий. Крупные телекоммуникационные компании активно инвестируют в "зеленые" технологии, как часть своих

корпоративных социальных ответственностей (КСО) и стратегий устойчивого развития.

Таким образом, история применения ВИЭ в автономных базовых станциях – это путь от вспомогательного и дорогостоящего решения к основополагающему элементу современной, устойчивой и экономически эффективной телекоммуникационной инфраструктуры.

Отмети, что в настоящее время применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных базовых станциях (БС) является не просто тенденцией, а стандартом для многих операторов мобильной связи, особенно в регионах с отсутствием или нестабильным доступом к централизованной электросети. Современная практика характеризуется комплексным подходом, интеграцией передовых технологий и стремлением к максимальной автономии и экологичности (рис. 1).



Рис. 1 – Основные компоненты автономной энергоустановки на ВИЭ [1]

Наиболее распространенной практикой является использование гибридных систем, которые объединяют несколько источников энергии для обеспечения надежного и стабильного электроснабжения БС. Фотоэлектрические панели (солнечные батареи) являются основным компонентом большинства гибридных систем, обладая высокой эффективностью, долговечностью и устойчивостью. Ветрогенераторы

используются в регионах с достаточным и стабильным ветровым потенциалом; современные турбины компактны, менее шумны и легко интегрируются. Дизельные генераторы по-прежнему играют роль резервного источника энергии, работая лишь в периоды недостаточной выработки ВИЭ или пиковых нагрузок, что значительно сокращает их время работы, экономит топливо и уменьшает выбросы. Развитие систем хранения энергии, в частности литий-ионных аккумуляторов, стало ключевым фактором: они обладают высокой плотностью энергии, длительным сроком службы и быстрым зарядом/разрядом, позволяя накапливать избыточную энергию для использования в периоды ее нехватки.

Системы управления аккумуляторными батареями (BMS) отслеживают состояние аккумуляторов и оптимизируют их работу, продлевая срок службы. Современные автономные БС оснащаются интеллектуальными системами управления энергопотреблением, использующими искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО). Эти системы в реальном времени анализируют выработку ВИЭ, потребление БС, состояние аккумуляторов и погодные прогнозы для динамического управления всеми компонентами.

Удаленный мониторинг и управление позволяют оперативно реагировать на проблемы и оптимизировать работу, а предиктивное обслуживание на основе ИИ помогает предотвращать отказы. Одновременно с внедрением ВИЭ, телекоммуникационная отрасль работает над снижением общего энергопотребления самих БС за счет использования высокоэффективного телекоммуникационного оборудования, эффективных систем охлаждения и перехода компонентов БС в режим ожидания (sleep mode) в периоды низкой нагрузки.

Перспективные направления включают создание полностью автономных "зеленых" БС, интеграцию БС с местными сообществами в

микро-гриды, использование новых ВИЭ (топливные элементы, микро-гидроэнергетика) и вторичное использование батарей. Таким образом, современная практика применения ВИЭ в автономных БС – это сложная, многокомпонентная система, основанная на гибридных решениях, передовых системах хранения энергии и интеллектуальном управлении, направленная на обеспечение надежной, экономичной и экологически чистой мобильной связи.

По нашему мнению, применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных базовых станциях, несмотря на свои преимущества, сталкивается с рядом специфических проблем. Одной из ключевых является нестабильность и непредсказуемость выработки энергии, поскольку солнечные панели зависят от солнечного света, а ветрогенераторы от скорости ветра, что приводит к колебаниям в электроснабжении, требующим мощных резервных систем или интеграции с традиционными источниками.

Второй проблемой являются высокие капитальные затраты (CAPEX) на ВИЭ-системы, включая сами генераторы и особенно дорогостоящие системы хранения энергии (аккумуляторы), что является значительным барьером, несмотря на низкие операционные расходы (OPEX).

Третий аспект – это ограниченный срок службы и высокая стоимость систем хранения энергии, так как аккумуляторы, особенно свинцово-кислотные, имеют короткий срок службы, а литий-ионные, хотя и более долговечны, дороже, и их эффективность чувствительна к температуре.

Четвёртой проблемой являются логистические и эксплуатационные сложности, так как развертывание автономных БС с ВИЭ часто происходит в удаленных районах, что затрудняет доставку оборудования, его монтаж, а также последующее техническое обслуживание.

Пятая проблема – это кражи и вандализм, поскольку оборудование ВИЭ является ценным и привлекательным для злоумышленников,

особенно в удаленных и плохо охраняемых местах, что приводит к финансовым потерям и простоям. Шестой аспект касается экологических проблем, связанных с утилизацией: несмотря на «зеленую» природу ВИЭ, отработанные солнечные панели и аккумуляторы содержат токсичные вещества и требуют специализированной переработки.

Седьмая проблема – это сложность интеграции и управления, поскольку создание эффективной гибридной системы требует интеллектуального управления, способного оптимизировать выработку, потребление и хранение энергии с учетом переменных условий. Наконец, существуют ограниченные возможности масштабирования и наращивания мощности; увеличение мощности уже существующей системы ВИЭ при росте потребностей БС может быть дорогостоящим и сложным. Преодоление этих вызовов требует постоянных технологических инноваций, разработки новых бизнес-моделей и государственной поддержки для успешного и широкого внедрения ВИЭ в телекоммуникационной инфраструктуре.

Отметим, что решение проблем, связанных с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных базовых станциях, требует комплексного подхода, затрагивающего технологические, экономические и организационные аспекты.

Среди технологических решений выделяются гибридные энергетические системы, представляющие собой комбинацию нескольких источников энергии, таких как солнечные панели, ветрогенераторы и дизель-генераторы. Это позволяет значительно снизить зависимость от одного источника и повысить стабильность энергоснабжения, при этом управление такими системами осуществляется интеллектуальными контроллерами для оптимизации режимов работы каждого компонента.

Улучшенные системы хранения энергии включают разработку и внедрение более долговечных и эффективных аккумуляторов, в частности

литий-ионных батарей, с перспективой использования твердотельных или проточных аккумуляторов, обладающих увеличенным сроком службы, большей плотностью энергии и меньшей стоимостью.

Интеллектуальные системы управления батареями (BMS) также применяются для продления их срока службы и оптимизации заряда/разряда. Оптимизация энергопотребления базовых станций является ключевым направлением, достигаемым за счет использования энергоэффективного оборудования (например, мощных и энергосберегающих приемопередатчиков, программно-определяемых сетей) и применения технологий «глубокого сна» для оборудования в периоды низкой нагрузки, что значительно снижает общее потребление энергии.

Прецизионное прогнозирование погоды с использованием искусственного интеллекта и машинного обучения помогает более точно предсказывать выработку энергии от солнечных панелей и ветрогенераторов, оптимизируя планирование зарядки аккумуляторов и переключение на резервные источники. Модульные и масштабируемые решения позволяют наращивать мощность системы ВИЭ по мере роста потребностей базовой станции, снижая первоначальные капитальные затраты и обеспечивая гибкость.

Экономические решения включают снижение капитальных затрат за счет массового производства компонентов ВИЭ, а также государственных субсидий и налоговых льгот. Финансовые инновации, такие как Financing as a Service (FaaS), где операторы платят за энергию, а не за само оборудование, снижают барьеры входа, переводя CAPEX в OPEX. Локализация производства компонентов уменьшает затраты на логистику и пошлины, стимулируя местную экономику. Развитие выгодных моделей утилизации и переработки отработавших элементов ВИЭ снижает как

экологическую нагрузку, так и финансовые издержки, способствуя развитию рынка вторичного сырья.

Организационные и логистические решения охватывают удаленный мониторинг и управление с использованием IoT и облачных платформ для оперативного отслеживания состояния оборудования и предотвращения неисправностей.

Улучшенная логистика и цепочки поставок для удаленных регионов достигаются за счет использования местных ресурсов и оптимизации маршрутов. Повышение безопасности объектов обеспечивается надежными системами охраны, видеонаблюдения, сигнализации, антивандальными конструкциями и сотрудничеством с местными сообществами.

Обучение и развитие местных кадров для обслуживания систем ВИЭ создает рабочие места и позволяет оперативно реагировать на проблемы. Стандартизация и унификация оборудования упрощают обслуживание, замену компонентов и обучение персонала. Комплексное применение этих решений позволяет создать устойчивые, экономически эффективные и надежные автономные базовые станции, работающие на возобновляемых источниках энергии, что способствует цифровизации удаленных регионов и снижению углеродного следа телекоммуникационной отрасли.

По нашему мнению, использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в автономных базовых станциях представляет собой не просто технологическую альтернативу, но и стратегически важное направление для устойчивого развития телекоммуникационной инфраструктуры. Оно позволяет решать комплекс задач, связанных с экономическими, экологическими и социальными аспектами.

Экономическая целесообразность применения ВИЭ обосновывается сокращением операционных расходов за счет минимизации или полной ликвидации затрат на дизельное топливо, его транспортировку и

обслуживание дизель-генераторов. При правильно спланированном жизненном цикле проекта, включающем первоначальные инвестиции, обслуживание и утилизацию, системы на основе ВИЭ обеспечивают более низкую общую стоимость владения (ТСО) по сравнению с традиционными решениями.

С экологической точки зрения, переход на ВИЭ значительно снижает углеродный след телекоммуникационной отрасли. Это сокращает выбросы парниковых газов, уменьшает загрязнение воздуха и снижает риски, связанные с разливами дизельного топлива, способствуя достижению глобальных целей по борьбе с изменением климата.

Технологическая надежность систем ВИЭ, особенно гибридных конфигураций (солнечная, ветровая энергия, а также усовершенствованные системы накопления энергии), достигла такого уровня, что позволяет обеспечивать стабильное и бесперебойное энергоснабжение базовых станций даже в самых суровых условиях. Развитие интеллектуальных систем управления энергией (EMS) и удаленного мониторинга повышает эффективность и операционную управляемость таких объектов.

Социальный аспект заключается в расширении доступа к связи в удаленных и труднодоступных районах, где прокладка электросетей экономически нецелесообразна или технически сложна. Это способствует решению проблемы цифрового неравенства, стимулирует местное экономическое развитие и улучшает качество жизни населения, предоставляя доступ к образованию, здравоохранению и информационным ресурсам.

Таким образом, внедрение и дальнейшее развитие систем ВИЭ в автономных базовых станциях является неотъемлемой частью модернизации и устойчивого развития телекоммуникационной отрасли, отвечающей вызовам современности и формирующей основу для будущих

инноваций. Это путь к более чистой, эффективной и социально ответственной глобальной связи.

Использованные источники:

1. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3278 (дата обращения: 18.07.25).
2. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. СПб.: Политехнический ун-т, 2016. 424 с.
3. Миннуллина А.С., Гибадуллин Р.Р. Применение возобновляемых источников энергии для автономного электроснабжения. Вестник науки, vol. 3, №. 5 (74), 2024, с. 1591-1595.