

4. Abduraimov, M. F. Problemy Zarafshanskogo gidrograficheskogo basseyna [Problems of the Zarafshan Hydrographic Basin] / M. F. Abduraimov. - NGO "Protection of the Zarafshan River Basin", 2017. - 120 p.
5. Shorokhov, S. M. Technology and integrated mechanization of placer deposit development / S. M. Shorokhov. - Moscow: Nedra, 1973. - Pp. 124-134.
6. Shorokhov, S. M. Placer development / S. M. Shorokhov. - Moscow: Metallurgizdat, 1948. - Pp. 81-87.
7. Ghimire, S. Spatial Sediment Erosion and Yield Using RUSLE Coupled with Distributed SDR Model / S. Ghimire, U. Singh, S. Adhikari, P. Bhattarai // Water. - 2024. - Vol. 16, No. 24. - P. 3549. - DOI: 10.3390/w16243549.
8. Juliev, M. A Comprehensive Review of Soil Erosion Research in Central Asian Countries (1993–2022) Based on the Scopus Database / M. Juliev, M. Kholmurodova, B. Abdikairov, J. Abuduwaili // Soil and Water Research. – 2024. – Vol. 19, No. 4. – Pp. 244–256. – DOI: 10.17221/82/2024-SWR.
9. Dou, X. Risk Assessment of Soil Erosion in Central Asia Under Global Warming / X. Dou, X. Ma, C. Zhao, J. Li, Y. Yan, J. Zhu // CATENA. – 2022. – Vol. 212. – Art. 106056. – DOI: 10.1016/j.catena.2022.106056.
10. Influencing Factors and Prediction of Turbine Sediment Abrasion in Pumped-Storage Power Stations // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 12. – MDPI.
11. Evdokimova, I. M. Reinforced Soil Dams / I. M. Evdokimova, E. B. Fonsov, B. Kh. Khamdamov // Field and Laboratory Studies of Hydraulic Structures. – Moscow: MGMI, 1987. – Pp. 76–81.
12. Patent of the Russian Federation No. 2518634. Device for regulating channel processes: E02B9/04 / 2014.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН- INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Иноятова Комола Лавзаровна	Иноятова Комола Лавзаровна	Inoyatova Komola Lavzarovna
докторант PhD Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	докторант PhD Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	PhD student at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: kamola.ikl@gmail.com		
Orcid: https://orcid.org/0009-0002-9178-0825		
TJ	RU	EN
Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор	Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуджаббор	Gulakhmadzoda Aminjon Abdujabbor
доктори илмҳои техникаӣ директор Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Doctor of Technical Sciences Director at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: agulakhmadov@gmail.com		
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7289-8310		

ИНТЕГРАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Дж.Х. Худжасаидов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Данная работа посвящена вопросам обеспечения энергоэффективности инфраструктуры сотовой связи в Республике Таджикистан. Учитывая сложный горный рельеф, перебои с центральным электроснабжением и высокий уровень солнечной инсоляции, автор проводит системный анализ возможностей внедрения солнечных электрических станций (СЭС) в гибридные схемы питания базовых станций. В статье приведен анализ эффективности комбинирования солнечных панелей, систем накопления энергии и дизель-генераторов как наиболее устойчивого решения для высокогорных регионов с сезонными колебаниями выработки энергии. Разработаны критерии оценки надежности и методика территориального зонирования для выбора оптимальных конфигураций. Приведены рекомендации по улучшению интеграционных процессов.

Ключевые слова: солнечная электростанция, телекоммуникационная инфраструктура, гибридная система электроснабжения, базовые станции, горные районы, система накопления энергии, дизельный генератор

ҲАМГИРОИИ ИСТГОҶҲОИ БАҶҶИ ОҶТОБӢ БА СИСТЕМАИ ТАЪМИНОТИ БАҶҶИ ИСТГОҶҲОИ ОПЕРАТОРОНИ АЛОҚАИ МОБИЛӢ: ВАЗӢИ КУНУНӢ ВА ДУРНАМО

Ҷ.Х. Хуҷасаидов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Мақола ба масъалаҳои баланд бардоштани самаранокии энергетикӣ инфрасохтори шабакаҳои алоқа мобилӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон бахшида шудааст. Бо назардошти релефи мураккаби қӯҳӣ, норасоии мавсимии таъминоти барқ ва сатҳи баланди шуоъпартоии офтоб(инсолятсия). Муаллифон таҳлили системавии имкониятҳои татбиқи нерӯгоҳҳои барқи офтобӣ (НБОФ) дар схемаҳои гибридии электротавминкунии истгоҳҳои асосӣ (БС) анҷом додааст. Инчунин, самаранокии таркибии панелҳои офтобӣ, системаҳои захиракунии энергия ва генераторҳои дизелӣ ҳамчун ҳалли устувор барои минтақаҳои баландқӯҳ, бо назардошти норасоии мавсимии таъминоти барқ, таҳлил карда шудааст. Инчунин, меъёрҳои баҳодиҳии эътимодноқӣ ва усули минтақабандии қаламрав барои интихоби конфигуратсияҳои оптималӣ таҳия шудаанд. Таъсияҳо оид ба беҳтар кардани равандҳои интегратсия пешниҳод карда шудаанд.

Калидвожаҳо: нерӯгоҳи барқи офтобӣ, инфрасохтори телекоммуникатсионӣ, системаи гибридии таъминоти барқ, истгоҳҳои асосӣ, минтақаҳои қӯҳӣ, системаи нигоҳдории энергия, генератори дизелӣ.

INTEGRATION OF SOLAR POWER PLANTS INTO THE POWER SUPPLY SYSTEM OF BASE STATIONS OF CELLULAR OPERATORS: CURRENT STATE AND PROSPECTS

J. Khujasavidov

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This study focuses on ensuring the energy efficiency of cellular infrastructure in the Republic of Tajikistan. Given the complex mountainous terrain, frequent disruptions in central power supply, and high levels of solar insolation, the authors conduct a systematic analysis of the integration of solar power plants (SPP) into hybrid power supply schemes for base stations. The article presents an efficiency analysis of combining solar panels, energy storage systems, and diesel generators as the most robust solution for high-altitude regions characterized by seasonal fluctuations in energy generation. Reliability assessment criteria and a methodology for territorial zoning have been developed to facilitate the selection of optimal configurations. Recommendations for improving integration processes are provided.

Keywords: Solar power plant, telecommunications infrastructure, hybrid power supply system, base stations, mountainous regions, energy storage system, diesel generator

Введение

Сектор телекоммуникаций Республики Таджикистан демонстрирует устойчивую положительную динамику: по итогам 2024 г. совокупные доходы отрасли увеличились на 11,3%, а число активных пользователей сети Интернет превысило 4,5 млн человек. Однако расширение покрытия и повышение качества услуг сдерживается нестабильностью централизованного электроснабжения. Горный рельеф и ярко выраженная сезонность выработки гидроэлектроэнергии приводят к систематическим сезонным отключениям, частота и длительность которых препятствует улучшению качества связи. Сотовые операторы вынуждены обеспечивать автономное питание базовых станций (БС), традиционно используя дизель-генераторные агрегаты (ДГА) совместно с аккумуляторными батареями. Данная схема обладает рядом недостатков:

- высокая стоимость дизельного топлива, особенно в удалённых районах (транспортная составляющая увеличивает цену в 2–3 раза относительно базовой);
- необходимость организации сложной логистики горюче-смазочных материалов, ограниченный моторесурс ДГА;
- значительные выбросы парниковых газов.

Альтернативой выступают фотоэлектрические системы (ФЭС), потенциал которых в условиях Таджикистана оценивается как высокий. Среднегодовое значение суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность составляет 1400–1800 кВт·ч/м², число солнечных дней в году достигает 250–300. [1-2].

Работа посвящена оценке целесообразности использования СЭС для гибридного электроснабжения объектов сотовой связи. Анализ проводится с учетом специфики горного рельефа, климата, инфраструктуры и и регуляторных условий.

1. Системные предпосылки и нормативный контекст внедрения ФЭС

1.1. Структурные ограничения централизованного энергоснабжения

Энергосистема Таджикистана базируется преимущественно на гидрогенерации (свыше 95% установленной мощности). В летний период наблюдается избыток генерированных мощностей, а в зимний — при снижении стока рек и увеличении потребления возникает дефицит, сопровождающийся веерными отключениями.

Для телекоммуникационных объектов, особенно расположенных в сельской местности и горных районах, длительность перерывов в электроснабжении может достигать несколько часов в сутки. При этом требования к безотказности питания оборудования связи регламентируются нормативными документами: допустимое время перерыва не должно превышать времени автоматического включения резерва (как правило, не более 10–15 минут). Традиционная схема электроснабжения на базе дизель-генераторных агрегатов (ДГА) и аккумуляторных батарей (АКБ) не всегда гарантирует выполнение требуемых показателей надежности. Это обусловлено рядом факторов:

- физический износ оборудования;
- дефицит генерирующих мощностей ДГА вследствие модернизации объектов и роста нагрузок;
- сложности со своевременной доставкой топлива в горные районы из-за сезонно-климатических ограничений;
- ограниченная емкость аккумуляторных батарей.

1.2. Государственное регулирование и стимулирование потребительского спроса.

В рамках Парижского климатического соглашения (2015 г.), являющегося фундаментальным международным договором по ограничению последствий глобального потепления, Таджикистан активно реализует свой национальный климатический план. Страна фокусируется на сдерживании антропогенных выбросов парниковых газов, используя комплексный подход, включающий энергоэффективность и внедрение возобновляемых источников энергии.

2. Технические аспекты использования СЭС в горных условиях Таджикистана

2.1. Влияние высотного фактора на эффективность фотоэлектрических модулей

Размещение базовых станций на абсолютных высотах 1500–3500 м над уровнем моря накладывает особые требования к проектированию. С повышением высоты наблюдается:

- увеличение интенсивности суммарной солнечной радиации (на 10–15% на каждые 1000 м за счёт уменьшения толщины атмосферы);
- снижение средней температуры воздуха (в среднем на 0,6°C на 100 м), что положительно сказывается на КПД фотоэлектрических модулей (температурный коэффициент мощности большинства панелей составляет –0,3...–0,4%/°C);

- рост уровня ультрафиолетового излучения, ускоряющего деградацию полимерных материалов защитного покрытия (требуется использование панелей с наилучшими показателями эффективности и минимальным уровнем деградации);

- вероятные снеговые нагрузки и обледенение, требующие увеличения угла наклона панелей (40–50° от горизонтали) и применения антиобледенительных покрытий или систем автоматической очистки.

Эксплуатация существующих объектов на базе ФЭС подтвердила, что годовая удельная выработка на высоте 3000 м может превышать расчётную для равнинных условий на 18–22% при условии корректного выбора угла установки и регулярного удаления снежного покрова.

2.2. Логистические ограничения и модульный принцип

Многие объекты располагаются в труднодоступных районах, где транспортная инфраструктура отсутствует, либо становится непроходимой из-за климатических особенностей в определенные сезоны. Доставка тяжёлых и крупногабаритных компонентов (аккумуляторные батареи, опорные конструкции, инверторы) возможна с использованием выючного транспорта (лошади, ослы), что многократно увеличивает капитальные затраты. В ответ на это целесообразно применение модульных топологий ФЭС:

- разбивка солнечного поля на функциональные блоки мощностью 1–3 кВт каждый;
- использование литий-железо-фосфатных (LiFePO_4) аккумуляторов с высокой удельной энергоёмкостью (120–150 Вт·ч/кг) и ресурсом не менее 5000 циклов, что снижает массу системы накопления энергии в 2–3 раза по сравнению со свинцово-кислотными аналогами;
- применение складных или рулонных фотоэлектрических панелей на полимерной основе.

2.3. Оптимальная топология гибридной энергосистемы

Поскольку солнечное излучение имеет стохастичный характер (суточная и сезонная вариация), для обеспечения заданного уровня надёжности, наиболее оптимальной является трёхкомпонентная гибридная конфигурация «ФЭС + СНЭ + ДГА» с интеллектуальным контроллером управления потоками энергии (Energy Management System, EMS).

Функциональное распределение следующее:

- ФЭС — источник базовой мощности в дневное время. Приоритет отдачи нагрузки и заряда системы накопления энергии (СНЭ).
- СНЭ — обеспечивает питание в ночное время, в периоды облачности и кратковременные пики нагрузки. Глубина разряда ограничена до 20–30% для продления ресурса.
- ДГА — выступает в роли страховочного резерва: запускается при снижении уровня заряда СНЭ ниже порогового (обычно 20–30% номинальной ёмкости) и при прогнозируемой продолжительности неблагоприятных погодных условий более 48 часов.

Интеллектуальный алгоритм управления использует краткосрочный прогноз инсоляции (на основе спутниковых данных) и нагрузки на БС для оптимизации режимов. По расчётам, такая конфигурация позволяет сократить долю дизельной генерации с 100% до 15–25% от общего энергобаланса в среднегорье и до 5–10% — в высокогорье с устойчивой инсоляцией.

3. Моделирование энергетического баланса и методика зонирования

3.1. Параметрическая модель оценки

Для принятия обоснованных решений о целесообразности интеграции ФЭС на конкретном объекте предлагается использовать параметрическую модель энергобаланса. Входные переменные включают:

- среднесуточное потребление базовой станции, P_{load} , кВт·ч/сут;
- инсоляционный потенциал региона (Таджикистан), I , - 4,5 до 5 кВт·ч/м²/сут;
- коэффициент полезного действия ФЭС с учётом потерь в инверторе, кабелях и загрязнения панелей, $\eta_{sys} = (0,75 - 0,85)$;

• требуемый уровень резервирования, R (доля времени, когда система должна работать без ДГА, обычно 0,90–0,99);

• ёмкость системы накопления, E_{batt} , кВт·ч.

Уравнение энергетического баланса в установившемся режиме (усреднение по месяцам):

$$E_{\text{ФЭС}} = \frac{P_{\text{load}} \cdot 24}{R} - E_{\text{разряд}} + E_{\text{заряд}};$$

где $E_{\text{ФЭС}}$ — суточная выработка от ФЭС, которая не может превышать $I \cdot S_{\text{панелей}} \cdot \eta_{\text{sys}}$,

$S_{\text{панелей}}$ — общая площадь модулей.

Решая обратную задачу, для каждого географического узла можно определить минимально необходимую мощность ФЭС и ёмкость СНЭ, при которых ДГА будет включаться не чаще заданного порога (например, не более 5% времени).

В табл. 2., приведены результаты определения оптимальной конфигурации системы электроснабжения базовой станции со среднесуточной нагрузкой 3,5 кВт.

Таблица 2 – Оптимальная конфигурация системы электроснабжения базовых станций

Table 2 – Optimal configuration of the base station power supply system

Компонент	Количество/мощность	Параметры	Примечание
Солнечные панели	14шт/7,7 кВт	Класс А	единичная мощность 550Вт
Аккумуляторные батареи	6 шт/30,7 кВт·ч	LiFePO_4 , 51,2В, 100А·ч	единичная ёмкость 100А·ч
Гибридный инвертор	1 шт. /(8 кВт с автозапуском ДГ)	Ток заряда от инвертора не менее 100А	для зарядки АКБ за 4-5 часов
Дизельный генератор	1 шт.	8 кВт	

Примечание:

Эта конфигурация обеспечит:

- В солнечный зимний день – до 80% энергии от солнца (40–45 кВт·ч), АКБ зарядится полностью, ДГА не запустится или будет работать 1–2 часа.
- В пасмурный зимний день – ДГА работает ~2-3 часа, потребляя ~7-10 л дизельного топлива.
- Летом – полная автономность, избыток энергии можно отдавать в сеть.
-

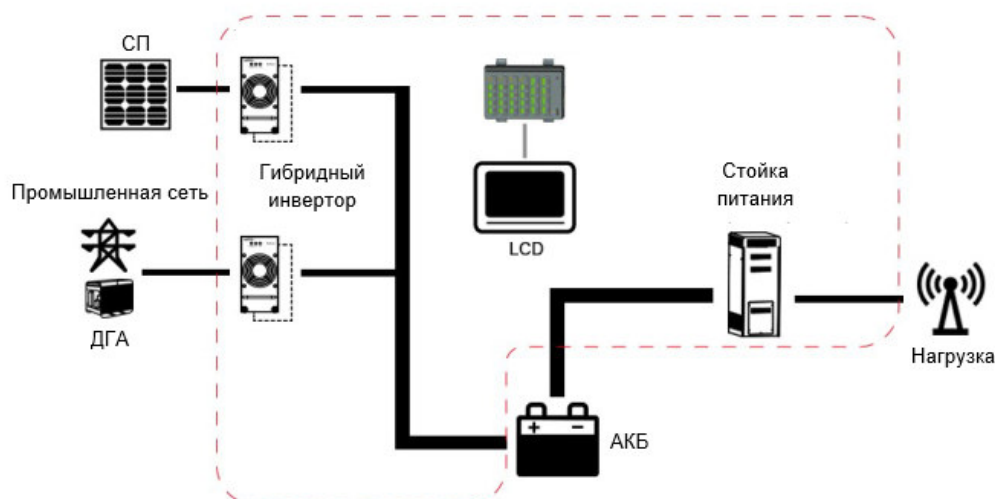


Рисунок 1 – Конфигурация системы электроснабжения на базе гибридных СЭС

Figure 1 – Configuration of the power supply system based on hybrid SPPs

Результаты расчета выработки электроэнергии в суточном разрезе для электроснабжения БС с конфигурацией «СЭС+АКБ+ДГА» для летнего периода приведены в табл.3.

Таблица 3 – Суточный режим работы гибридной СЭС

Table 3 – Daily operating profile of the hybrid SPP

Часы	Выработка кВт·ч	Нагрузка	Состояние АКБ	Режим ДГА
0-6	0	2,5	Разряд с 77% до 30%	выкл
6-9	3	1,8-2,5	Заряд с 30% до 60%	выкл
9-12	12,8	3,2	Заряд с 60% до 80%	выкл
12-15	21,8	2,8	100% заряжен	выкл
15-18	18	2	100% заряжен	выкл
18-21	6	3,5	100% заряжен	выкл
21-24	0	3,5	Разряд с 100% до 68%	выкл

3.2. Зонирование территории Таджикистана по типам энергосхем

Согласно [1, 2, 4, 5] и карт транспортной доступности выделены три зоны:

- Зона А — равнинная и предгорная (до 1200 м): стабильная инсоляция, относительная близость к централизованным сетям. Рекомендована схема «ФЭС + СНЭ» без ДГА с возможностью подзарядки от сети. Требуемая автономия — 1–2 суток.

- Зона В — среднегорье (1200–2500 м): инсоляция повышенная, но сеть нестабильна или отсутствует. Обязательна трёхкомпонентная схема «ФЭС + СНЭ + ДГА» с расчётной автономией по СНЭ не менее 3 суток. Доля участия ДГА — до 20% годового баланса.

- Зона С — высокогорье (>2500 м), включая перевалы, ГБАО: инсоляция максимальная, однако суровые погодные условия и длительные периоды снегопадов. Схема «ФЭС + СНЭ + ДГА» с увеличенной ёмкостью СНЭ (5–7 суток) и дополнительным подогревом аккумуляторного отсека.

Моделирование для типовой БС в зоне В показывает, что оптимальная мощность ФЭС лежит в диапазоне 3–5 кВт_р (киловатт пиковых) при ёмкости СНЭ 15–25 кВт·ч. ДГА мощностью 8-10 кВт используется менее 200 часов в год, что снижает затраты на его обслуживание и продлевает ресурс.

4. Экономическая эффективность: от капитальных затрат к совокупной стоимости владения

4.1. Структура затрат по этапам жизненного цикла

Оценка экономической эффективности ФЭС в телекоммуникационном секторе традиционно производится с помощью показателя совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO) на горизонте 10–15 лет. В расчёт включаются:

- Капитальные затраты: приобретение фотоэлектрических модулей, инверторов, контроллеров, СНЭ, опорных конструкций, а также монтаж и логистика.

- Эксплуатационные затраты (ОРЕХ): замена компонентов с ограниченным ресурсом (аккумуляторы, инверторы), периодическое техническое обслуживание (очистка панелей, контроль соединений), расходы на топливо (для ДГА) и его доставку, заработная плата персонала.

Сравнительный анализ для типичной БС со среднесуточной мощностью 3,5 кВт в удалённом районе на высоте 2000 м приведен в табл.1.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели

Table 1 – Technical and economic indicators

Параметр	Традиционная схема (ДГА+АКБ)	Гибридная схема (ФЭС+АКБ+ДГА)
Капитальные затраты, тыс. \$	12-15	25-30
Ежегодные эксплуатационные затраты, тыс. \$	13-17	1,5–2,5
ТСО за 10 лет, тыс. \$	68–102	33–50
Сокращение расхода дизеля, л/год	–	(70–80%)
Срок окупаемости, лет	–	4-6

Данные таблицы демонстрируют, что более высокий начальный CAPEX гибридной системы компенсируется резким снижением OPEX, главным образом за счёт уменьшения потребления и доставки дизельного топлива. Чувствительность TCO к цене топлива: при росте стоимости 1 литра на 20% срок окупаемости снижается на 0,7–1,2 года.

4.2. Неценовые экономические эффекты

Помимо прямых денежных потоков, интеграция ФЭС создаёт следующие количественно оцениваемые выгоды:

- Снижение простоев и упущенной выручки. Уменьшение числа отказов электроснабжения на 80–90% приводит к росту коэффициента доступности услуг с 0,95 до 0,998, измеряемого по формуле:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)};$$

где:

A (Availability) — коэффициент готовности (безразмерная величина от 0 до 1 или проценты).

MTBF (Mean Time Between Failures) — среднее время между отказами (чем больше, тем надёжнее).

MTTR (Mean Time To Repair) — среднее время восстановления (чем меньше, тем быстрее чинится).

- Увеличение срока службы аккумуляторов. Интеллектуальное управление гибридной системой продлевает ресурс СНЭ на 20–30% за счёт оптимизации глубины и частоты разрядов (до 5000–6000 циклов для LiFePO_4 против 1000–1500 для свинцово-кислотных в аварийных режимах).

- Снижение логистических рисков. Уменьшение частоты рейсов по доставке топлива снижает вероятность аварий и простоев, связанных с отсутствием ГСМ в период природных препятствий для транспорта.

5. Надёжность и живучесть гибридных энергосистем

Интеграция ФЭС не должна снижать показатели безотказности электроснабжения по сравнению с традиционной схемой. Для количественной оценки введён коэффициент сохранения нагрузки (Loss of Load Probability, LOLP). Расчётная оценка для традиционной схемы «ДГА+АКБ» в условиях Таджикистана составляет 0,05–0,10 (т.е. 5–10% времени возможен дефицит мощности). Для гибридной схемы с EMS и прогнозированием LOLP может быть снижен до 0,01–0,02, что соответствует мировым стандартам для телекоммуникаций (класс надёжности 2,5 «девятка» — 99,5%).

Способность сохранять частичную работоспособность при множественных отказах — обеспечивается за счёт:

- резервирования;
- секционирования СНЭ на параллельные банки (при отказе одной секции остальные продолжают работу);
- возможности ручного приоритетного управления ДГА на время проведения ремонтных работ на ФЭС.

В высокогорных зонах рекомендуется установка дистанционного перезапуска, что позволяет избежать выезда бригады в сложных погодных условиях.

7. Практические рекомендации по реализации проектов интеграции ФЭС

На основе системного анализа формулируются следующие рекомендации:

1. Приоритетное применение гибридных топологий. Отказ от ДГА полностью оправдан только в зоне А (равнины с устойчивой сетью) и для маломощных ретрансляторов (< 500 Вт). Во всех остальных случаях обязательна схема «ФЭС + СНЭ + ДГА».

2. Стандартизация проектных решений. Готовые решения для солнечных станций разной мощности (от 1 до 10кВт) с одинаковыми способами подключения ускорят проектирование и снизят количество ошибок при сборке.

3. Обязательный учёт региональных климатических данных. Использование помесячных значений инсоляции за последние 10-лет. Зимний дефицит компенсируется либо увеличением емкости аккумуляторных батарей, либо долей ДГА.

4. Внедрение удалённого мониторинга и прогнозной аналитики. Необходимо наладить удаленный контроль и прогнозную аналитику. Организовать систему мониторинга, которая в реальном времени отслеживает ток, напряжение, температуру батарей и уровень топлива, отправляя данные на сервер. Использовать алгоритмы машинного обучения для прогноза выработки энергии и оптимизации работы дизель-генератора.

5. Создание региональных сервисных центров с запасом критических компонентов (инверторы, контроллеры, модули BMS) в региональных центрах для сокращения времени восстановления при отказах.

6. Программы обучения технического персонала. Разрабатываются программы обучения технического персонала, включающие следующие разделы: безопасная работа с высоковольтными цепями фотоэлектрических станций, диагностика LiFePO₄ аккумуляторов, настройка EMS, а также специфика очистки панелей в горных условиях.

Заключение

Использование солнечных электростанций в качестве альтернативного источника для электроснабжения базовых станций мобильной связи в Таджикистане — это не просто обновление оборудования, а важный шаг к энергетической независимости. Такой подход позволяет мобильным операторам серьезно экономить деньги и меньше зависеть от доставки дизельного топлива в труднодоступные места. Эти изменения напрямую поддерживают государственный план — «Стратегию развития зелёной экономики до 2037 года», утвержденный правительством. Модернизация энергоснабжения в сфере связи — это часть общей цели страны. Переход на экологически чистую энергию помогает не только решать технические задачи, но и развивать экономику, беречь природу и улучшать жизнь людей, делая связь более доступной. Проще говоря, оснащение базовых станций солнечными панелями — это реальный и практичный способ построить устойчивое и экологичное будущее, как и задумано в национальной стратегии.

Рецензент: Джурев Ш.Дж. — к.т.н., доцент кафедры Электроэнергетики, филиала ННУ «МЭИ» в г. Душанбе

Литература

1. Шохзода, Б. Т. Исследование потенциала солнечной энергии в Таджикистане / Б. Т. Шохзода, Ш. Дж. Джурев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 3(43). – С. 20–25.
2. Киргизов, А. К. Влияние местности на определение потенциала возобновляемых источников энергии / А. К. Киргизов, З. С. Ганиев, Р. А. Джалилов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 1(41). – С. 34–46.
3. Худжасидов, Дж. Х. Разработка имитационной модели централизованного обслуживания распределённой генерации / Дж. Х. Худжасидов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2024. – № 2(66). – С. 39–46.
4. Solar Market Research and Analysis [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>.
5. Sharifov, B. N. Electromagnetic Transients in the Control System of Output Parameters of a Solar Power Plant in the Tajikistan Central Asia Region / B. N. Sharifov, M. Kh. Safaraliev [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, Iss. 9. – Pp. 5757–5765.

Reference

1. Shokhzoda, B. T. Study of Solar Energy Potential in Tajikistan / B. T. Shokhzoda, Sh. Dzh. Juraev // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. - 2018. - No. 3 (43). - P. 20-25.
2. Kirgizov, A. K. Influence of Terrain on Determining the Potential of Renewable Energy Sources / A. K. Kirgizov, Z. S. Ganiev, R. A. Dzhaliylov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. - 2018. - No. 1 (41). - P. 34-46.

3. Khujasaidov, J. H. Development of a Simulation Model for Centralized Maintenance of Distributed Generation / J. H. Khujasaidov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. - 2024. - No. 2 (66). – P. 39–46.
4. Solar Market Research and Analysis [Electronic resource]. – URL: <http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>.
5. Sharifov, B. N. Electromagnetic Transients in the Control System of Output Parameters of a Solar Power Plant in the Tajikistan Central Asia Region / B. N. Sharifov, M. Kh. Safaraliev [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47, Iss. 9. – Pp. 5757–5765.

**МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ – СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ –
INFORMATION ABOUT AUTHOR**

TJ	RU	EN
Хучасайдов Ҷаҳонгир Хучасайдович	Худжасайдов Джахонгир Худжасайдович	Khujasaidov Jahongir Khujasaidovich
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Ph.D., Associate Professor
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	TTU named after academician M.S. Osimi
E-mail: jahon_nstu@mail.ru		
https://orcid.org/0000-0003-2322-5985		