

УДК 621.311

https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/17

ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

©*Раимбек уулу Э.*, ORCID: 0009-0008-8298-0757, SPIN-код: 9912-2537,

Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,

г. Ош, Кыргызстан, ergazy0702@gmail.com

©*Ташиев Н. М.*, ORCID: 0000-0001-9739-7638, SPIN-код 4962-3103, канд. тех.наук, *Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, miali_n@mail.ru*

©*Таштемиров У. Т.*, *Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,*

г. Ош, Кыргызстан

©*Кадырбаева Ж. Б.*, ORCID: 0009-0009-6036-0167, *Кыргызско-Узбекский международный университет им. Б. Сыдыкова, г. Ош, Кыргызстан*

©*Омутов О. Э.*, *Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,*

г. Ош, Кыргызстан

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF CELLULAR BASE STATIONS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

©*Raimbek uulu E.*, ORCID: 0009-0008-8298-0757, SPIN-code: 9912-2537, *Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, ergazy0702@gmail.com*

©*Tashiev N.*, ORCID: 0000-0001-9739-7638, SPIN code: 4962-3103, Ph.D., *Osh Technological University, named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, miali_n@mail.ru*

©*Tashtemirov U.*, *Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan*

©*Kadyrbaeva Zh.*, 0009-0009-6036-0167, *Kyrgyz-Uzbek International University named after B. Sydykov, Osh, Kyrgyzstan*

©*Omutov O.*, *Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan*

Аннотация. Рассмотрены основные направления повышения энергоэффективности базовых станций сотовой связи. Проанализирована структура операционных затрат на эксплуатацию базовых станций и показано, что наибольшая доля расходов приходится на энергоснабжение и работу вспомогательных систем. Описаны современные методы снижения энергопотребления базовых станций, включая модернизацию оборудования, применение систем динамического энергосбережения и использование альтернативных источников электроэнергии. Особое внимание уделено солнечной энергетике, различным типам фотоэлектрических элементов и возможностям их применения для автономного питания удалённых базовых станций.

Abstract. This article examines the key areas for improving the energy efficiency of cellular base stations. It analyzes the structure of operating costs for base stations, showing that the largest share of these costs is attributed to power supply and auxiliary systems. Modern methods for reducing energy consumption of base stations are considered, including equipment modernization, the use of dynamic energy saving systems and the use of alternative energy sources. Particular attention is paid to solar energy, various types of photovoltaic cells and the possibilities of their use for autonomous power supply of remote base stations.

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи, базовая станция, энергоэффективность, солнечная энергетика, автономное электропитание, возобновляемые источники энергии.

Keywords: photovoltaic converters, base station, energy efficiency, solar energy, autonomous power supply, renewable energy sources.

Устойчивая тенденция роста объемов потребления, стоимостей добычи и транспортировки, ограниченных по своим запасам не возобновляемых энергоресурсов, вызывает все большую необходимость использования в народном хозяйстве возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Эта проблема приобретает еще большую актуальность в связи с обострением за последние годы проблем охраны окружающей среды. Сегодня, перед государством остро стоит задача повышения энергоэффективности при производстве, передаче и потреблении энергии в стране. Развитие сетей сотовой связи сопровождается постоянным увеличением количества базовых станций, что приводит к росту энергопотребления телекоммуникационной инфраструктуры. В условиях размещения базовых станций в удалённых районах и при отсутствии надёжных электрических сетей проблема энергообеспечения становится особенно актуальной. Во многих случаях такие базовые станции вынуждены работать на дизель-генераторных установках, что приводит к росту эксплуатационных затрат и негативному воздействию на окружающую среду. В связи с этим актуальной задачей является повышение энергоэффективности базовых станций и внедрение альтернативных источников энергии, прежде всего солнечной энергетики, позволяющей обеспечить автономную и экологически чистую работу объектов связи. Солнечные батареи (фотоэлектрические преобразователи) представляют собой устройства, предназначенные для трансформации солнечной (лучистой) энергии в электрическую. Солнечная электростанция состоит из солнечных батарей, контроллера заряда, аккумуляторов, инвертора, компонентов защиты от перенапряжения и молнии, резервного генератора. Их широкое применение обусловлено возможностью получения чистой энергии в различных секторах. В частности, они интегрируются в автономные и сетевые энергетические системы как бытового, так и промышленного назначения. В агропромышленном комплексе фотоэлектрические установки используются для обеспечения электропитанием насосного оборудования и других периферийных устройств. Кроме того, фотоэлектрические панели применяются в качестве источников питания и зарядных устройств для портативной электроники, включая смартфоны и ноутбуки [1-3].

Принцип функционирования солнечной батареи базируется на фотоэлектрическом эффекте (фотогальваническом эффекте), возникающем в полупроводниковых структурах (Рисунок 1). Основным конструктивным элементом солнечного элемента является р-п переход, сформированный в кристаллическом кремнии. Накопленная электроэнергия направляется в инвертор, где электрический ток преобразовывается при напряжении 220 Вольт или 380 Вольт в зависимости от количества фаз при максимальном отклонении напряжения до $\pm 15\%$ при частоте 50 Гц в пределах изменения $\pm 0,4$ Гц в соответствии с действующими требованиями и условиями к показателям качества электроэнергии. К примеру, полупроводники (кремниевые пластины), которые используются для изготовления элементов, обладают положительными и отрицательными заряженными электронами и состоят их двух слоев, а именно: п-слой (-) и р-слой (+). Излишние электроны под воздействием солнечного света выбиваются из слоев и занимают пустые места в другом слое. Данный процесс заставляет свободные электроны постоянно двигаться, переходя из одной пластины в другую вырабатывая электрическую энергию, которая накапливается в системе накопления энергии или передается в сетевой инвертор в зависимости от типа солнечной электростанции [4].

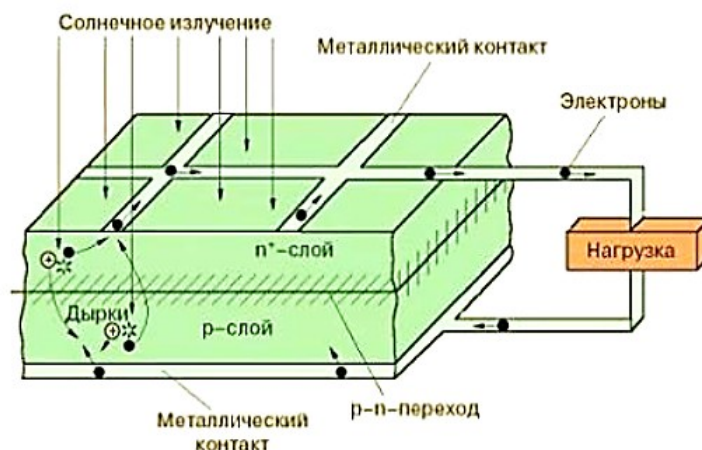


Рисунок 1. Принцип работы солнечной батареи

Физический механизм процесса заключается в следующем:

1. Поглощение фотонов: При попадании электромагнитного излучения (света) на поверхность полупроводника происходит поглощение фотонов.
2. Генерация носителей заряда: Энергия поглощенных фотонов передается электронам атомов кристаллической решетки, что приводит к их возбуждению и переходу в зону проводимости. Одновременно в валентной зоне образуются свободные носители заряда — дырки.
3. Разделение зарядов: Встроенное электрическое поле р-п перехода осуществляет пространственное разделение сгенерированных электронов и дырок, предотвращая их рекомбинацию.
4. Формирование электрического тока: При подключении внешней нагрузки (потребителя) к металлическим контактам, электроны начинают упорядоченно двигаться по внешней цепи, формируя электрический ток.

Интеграция в системы. Для масштабирования выходной мощности отдельные солнечные элементы объединяются в модули (солнечные панели), а модули, в свою очередь, формируют фотоэлектрические станции или батарейные парки. Полученная постоянная электрическая энергия может быть использована для непосредственного питания устройств или преобразована в переменный ток с помощью инвертора. Затраты, связанные с эксплуатацией базовых станций, подразделяются на три основные группы: затраты на эксплуатацию оборудования базовой станции; затраты на обслуживание антенно-мачтовых сооружений; затраты на эксплуатацию линий связи. В каждой группе выделяются затраты на регламентные и аварийно-ремонтные работы, а также затраты на расходные материалы и энергоснабжение. Типовая структура операционных затрат на эксплуатацию одной базовой станции представлена в Таблице 1. Анализ показывает, что более половины всех затрат приходится на энергоснабжение, при этом около трети потребляемой энергии расходуется вспомогательными системами, включая системы охлаждения и электропитания. Среднегодовое энергопотребление одной базовой станции составляет порядка 35 300 кВт·ч, что соответствует средней мощности около 4 кВт. При этом базовые станции стандарта UMTS характеризуются меньшим энергопотреблением по сравнению со станциями стандарта GSM, что обусловлено различиями в выходной мощности передатчиков и составе оборудования [5].

Таблица

СТРУКТУРА ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Статья затрат	Затраты, евро/год	Доля, %
программное обеспечение	626	18
кондиционеры	192	6
система питания	385	11
электропитание	1944	56
прочие затраты	315	10

СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Оборудование	доля, %
приемопередатчики и цифровое оборудование	62
система охлаждения	25
система питания	11
прочее	2

Методы исследования

Современные тенденции повышения энергоэффективности базовых станций включают два взаимосвязанных направления: снижение энергопотребления оборудования и использование альтернативных источников электроэнергии. *Снижение энергопотребления* достигается за счёт модернизации устаревшего оборудования и внедрения более совершенных алгоритмов работы. Современные базовые станции обладают меньшим энергопотреблением благодаря использованию энергоэффективных усилителей, цифровой обработки сигналов и оптимизированных схем распределения частотных ресурсов. Значительный вклад в снижение энергопотребления вносит совершенствование вспомогательного оборудования. Так, КПД современных блоков питания достигает 95% по сравнению с 80% у более ранних моделей. Кроме того, применяются энергосберегающие источники света для маркировки антенно-мачтовых сооружений. *Системы динамического энергосбережения* (Dynamic Energy Saving, Power Saving Mode) позволяют отключать или переводить в режим пониженного энергопотребления неиспользуемые радио модули и частоты в периоды низкой нагрузки. Данные системы обеспечивают снижение суточного энергопотребления базовой станции на 10–15%, особенно в ночное время, когда активность абонентов минимальна. *Использование солнечной энергетики*: Солнечная энергетика является одним из наиболее перспективных возобновляемых источников энергии для автономного электропитания базовых станций. Преимуществами солнечных энергетических систем являются экологическая чистота, независимость от поставок топлива и низкие эксплуатационные затраты. Основным элементом солнечных электростанций являются фотоэлектрические элементы, которые подразделяются на кристаллические и аморфные. Аморфные фотоэлементы обладают рядом недостатков, среди которых низкий коэффициент полезного действия (6–7%) и меньший срок службы по сравнению с кристаллическими элементами, срок эксплуатации которых может достигать 40 лет [6].

Сравнительные характеристики различных типов фотоэлементов представлены на Рисунке 2. Помимо фотоэлектрических систем, широко применяется гелиотермальная энергетика, основанная на преобразовании солнечного излучения в тепловую энергию. Основным элементом таких систем является солнечный коллектор, предназначенный для нагрева теплоносителя и последующего использования тепла в системах отопления и горячего водоснабжения. Солнечные коллекторы могут быть плоскими и трубчатыми (вакуумными). Плоские коллекторы отличаются меньшей стоимостью, однако обладают более низкой эффективностью по сравнению с вакуумными системами. При установке солнечных

коллекторов важным фактором является ориентация на юг с допустимым отклонением не более 30°, что обеспечивает оптимальную выработку тепловой энергии.

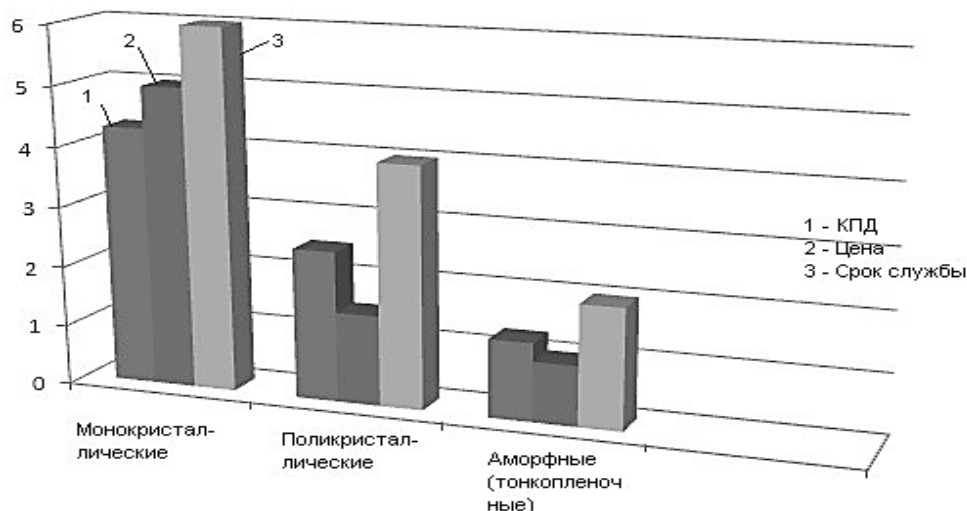


Рисунок 2. Сравнительные характеристики различных типов фотоэлементов

Заключение

Проведённый анализ показал, что энергоснабжение является основным фактором эксплуатационных затрат базовых станций сотовой связи. Применение современных энергоэффективных технологий, систем динамического энергосбережения и возобновляемых источников энергии позволяет существенно снизить энергопотребление и повысить надёжность работы базовых станций. Использование солнечной энергетики открывает широкие перспективы для автономного электропитания удалённых объектов связи, снижая зависимость от традиционных источников энергии и уменьшая негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы:

1. Ташиев Н. М., Турдуев И. Э., Ашимов А. М., Оматов О. Э. Исследование эффективности систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Научный диалог: теория и практика: Сборник научных статей. М.: Инфинити, 2025. С. 112-120.
2. Турдуев И. Э., Жусубалиева А. Ж., Турапов А., Мамбет уулу Б. Инновационно-производственный комплекс на основе возобновляемых источников энергии // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №2. С. 158-162. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/111/20>
3. Нестеренко Г. А., Нестеренко И. С., Войнаш С. А. Использование солнечных батарей как дополнительного источника питания для транспортных средств // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. Вып. 4. С. 387–389.
4. Ташиев Н. М., Раимбек уулу Э., Ашимов А. М. Исследование электрических характеристик элементов солнечных электростанций // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №1. С. 61-66. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/110/09>
5. Емельянов А. К. Пути повышения энергоэффективности подсистемы базовых станций сетей сотовой связи // Науковедение. 2013. №4. С. 1–12.

6. Мехтиев А. Д., Югай В. В., Эйрих В. И., Ким Ю. В, Суиндииков М. Б. Внедрение солнечных модулей для энергообеспечения систем телекоммуникации // Вестник Карагандинского университета. Серия: Физика. 2015. №1 (77). С. 59-65.

References:

1. Tashiev, N. M., Turduev, I. E., Ashimov, A. M., & Omutov, O. E. (2025). Issledovanie effektivnosti sistem elektrosnabzheniya s ispol'zovaniem vozobnovlyаемых istochnikov energii. In *Nauchnyi dialog: teoriya i praktika: Sbornik nauchnykh statei*, Moscow. 112-120. (in Russian).

2. Turduev, I., Zhusubalieva, A., Turapov, A., & Mambet uulu, B. (2025). Innovative Production Complex Based on Renewable Energy Sources. *Bulletin of Science and Practice*, 11(2), 158-162. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/111/20>

3. Nesterenko, G. A., Nesterenko, I. S., & Voinash, S. A. (2024). Ispol'zovanie solnechnykh batarei kak dopolnitel'nogo istochnika pitaniya dlya transportnykh sredstv. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 4, 387–389. (in Russian).

4. Tashiev, N., Raimbek uulu, E., & Ashimov, A. (2025). Research of Electrical Characteristics of Elements of Solar Power Plants. *Bulletin of Science and Practice*, 11(1), 61-66. (In Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/110/09>

5. Emel'yanov, A. K. (2013). Puti povysheniya energoeffektivnosti podsistemy bazovykh stantsii setei sotovoi svyazi. *Naukovedenie*, (4), 1–12. (in Russian).

6. Mekhtiev, A. D., Yugai, V. V., Eirikh, V. I., Kim, Yu. V, & Suindikov, M. B. (2015). Vnedrenie solnechnykh modulei dlya energoobespecheniya sistem telekommunikatsii. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya: Fizika*, (1 (77)), 59-65. (in Russian).

Поступила в редакцию
16.02.2026 г.

Принята к публикации
25.02.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Раимбек уулу Э., Ташиев Н. М., Таштемиров У. Т., Кадырбаева Ж. Б., Омутув О. Э. Повышения энергоэффективности базовых станций сотовой связи с использованием возобновляемых источников энергии // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №4. С. 126-131. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/17>

Cite as (APA):

Raimbek uulu, E., Tashiev, N., Tashtemirov, U., Kadyrbaeva, Zh., & Omutov, O. (2026). Improving the Energy Efficiency of Cellular Base Stations Using Renewable Energy Sources. *Bulletin of Science and Practice*, 12(4), 126-131. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/125/17>