

Зарядная станция для электромобилей на солнечных фотоэлектрических преобразователях в районе города Краснодара

Рецензия эксперта на статью получена
11.02.2026 [The expert review of the article
was received on February 11, 2026]

Быстрое развитие электрического транспорта является одной из ключевых тенденций мировой энергетики [1]. Расширение парка электромобилей требует создания надёжной и доступной зарядной инфраструктуры, которая, в свою очередь, создаёт новые вызовы для существующих энергосистем [2]. В России развитие электромобильного транспорта находится на начальной стадии, однако его потенциал высок, особенно в южных регионах страны, где климатические условия позволяют эффективно использовать солнечную энергию. Большинство зарядных станций в настоящее время работают от централизованных сетей. Это ограничивает их применение в отдалённых районах и повышает нагрузку на существующие энергосети. В таких условиях целесообразно использование автономных систем, функционирующих на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Фотоэлектрические преобразователи обеспечивают экологически чистое и устойчивое энергоснабжение, позволяя создавать независимые зарядные станции [3]. Применение солнечных систем особенно актуально для Краснодарского края, где уровень солнечной радиации превышает 1300 кВт·ч/м² в год [4, 5]. Это делает регион оптимальной площадкой для проектирования и реализации автономных зарядных комплексов нового поколения.

Цель исследования — разработка проекта и технико-экономического обоснования (ТЭО) автономной зарядной станции для электромобилей, работающей исключительно на солнечной энергии.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1. Определены требования к мощности и режимам работы станции исходя из количества обслуживаемых электромобилей.
2. Подобрано оборудование — зарядные станции, инверторы, аккумуляторы и контроллеры заряда.
3. Разработаны схематические решения для работы системы в автономном режиме.

В России развитие электромобильного транспорта находится на начальной стадии, однако его потенциал высок, особенно в южных регионах страны, где климатические условия позволяют эффективно использовать солнечную энергию

Методы и материалы проектирования

Расчёты основаны на данных о количестве электромобилей в эксплуатации на 2023 год [6] и типовых ёмкостях их аккумуляторных батарей (в среднем 46,8 кВт·ч).

Приняты климатические параметры города Краснодара (45°02'07" с. ш., 38°58'31" в. д.), где годовой потенциал солнечного излучения составляет около 1350 кВт·ч/м² [4, 5]. При проектировании станции учитывались условия круглосуточной работы, требующие накопления дневной выработки энергии для зарядки в ночное время. Базой для расчёта послужило следующее условие: станция должна обеспечивать зарядку 100 электромобилей в день при уровне зарядки 50% ёмкости батарей, что соответствует суточному энергопотреблению 2341,35 кВт·ч.

УДК 621.31. Научная специальность: 2.4.5.

Зарядная станция для электромобилей на солнечных фотоэлектрических преобразователях в районе города Краснодара

Сергей Александрович Дмитриев, магистрант, кафедра «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» (ГВИЭ), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **Даниэль Адриан Перес Москоте**, к.т.н., доцент, кафедра ГВИЭ, НИУ «МЭИ»

В статье представлено проектное исследование автономной зарядной станции для электромобилей, функционирующей на основе солнечных фотоэлектрических преобразователей. Объектом проектирования выбран район города Краснодар, характеризующийся высоким уровнем солнечной радиации и благоприятными климатическими условиями для эксплуатации возобновляемых источников энергии. В работе подробно рассмотрены технические решения, обеспечивающие энергетическую автономность станции: выбор фотоэлектрических модулей, аккумуляторных батарей, инверторного оборудования и контроллеров заряда. Показано, что использование современных литий-железо-фосфатных аккумуляторов, высокоэффективных солнечных модулей и гибридных инверторов обеспечивает стабильную работу станции и возможность круглосуточной зарядки электромобилей. Проект демонстрирует перспективность применения ВИЭ для развития транспортной инфраструктуры и сокращения углеродных выбросов.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, электромобили, зарядные станции, фотоэлектрические модули, накопители энергии, автономные системы.

UDC 621.31. Scientific specialty number: 2.4.5.

Charging station for electric vehicles powered by solar photovoltaic converters in the Krasnodar city area

Sergey Al. Dmitriev, Master's student, Department of Hydropower and Renewable Energy Sources (GIE), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MEI"); **Perez Moscote Daniel Adrian**, PhD, Associate Professor, Department of GIE, NRU "MEI"

The article presents a design study of an autonomous charging station for electric vehicles operating on the basis of solar photovoltaic converters. The Krasnodar city district, characterized by a high level of solar radiation and favorable climatic conditions for the exploitation of renewable energy sources, was chosen as the design object. The paper considers in detail the technical solutions that ensure the energy autonomy of the plant: the choice of photovoltaic modules, batteries, inverter equipment and charge controllers. It is shown that the use of modern lithium-iron-phosphate batteries, highly efficient solar modules and hybrid inverters ensures stable operation of the station and the possibility of round-the-clock charging of electric vehicles. The project demonstrates the prospects of using renewable energy sources to develop transport infrastructure and reduce carbon emissions.

Key words: renewable energy sources, solar energy, electric vehicles, charging stations, photovoltaic modules, energy storage, autonomous systems.



Рис. 1. Схема параллельного подключения инверторов

Применены методы системного анализа и расчётные модели энергетического баланса. Особое внимание уделено деградации аккумуляторов (20%), коэффициентам потерь в инверторах и эффективной глубине разряда.

Для обоснования проектных решений выполнено сравнение различных структурных конфигураций автономных систем постоянного и переменного тока. Каждая схема отражает определённый этап формирования единой энергосисте-

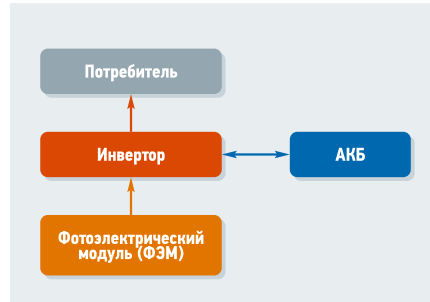


Рис. 2. Стандартная схема подключения фотоэлектрического модуля и АКБ к инвертору

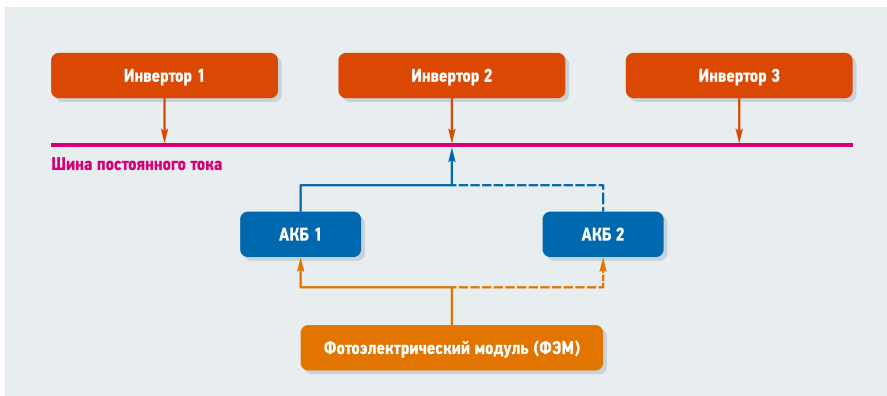


Рис. 3. Альтернативная схема подключения ФЭМ и АКБ

мы станции, от базового принципа параллельного соединения инверторов до интегрированной архитектуры с общей шиной постоянного тока и аккумуляторными массивами большой ёмкости.

1. На первом этапе рассматривалась базовая схема параллельного подключения однофазных инверторов (рис. 1), позволяющая синхронизировать их работу через модули параллельного подключения (МПП) и формировать трёхфазное питание с необходимым сдвигом фаз.

Преимущество этого варианта заключается в равномерном распределении нагрузки между инверторами при неравномерной радиации. Однако небольшая единичная мощность таких инверторов и необходимость их большого количества повышают стоимость и сложность системы, поэтому эта схема использовалась как отправная модель для дальнейших расчётов.

2. На основании результатов анализа базовой схемы была разработана структура

с использованием трёхфазных гибридных инверторов, способных работать в автономном режиме без подключения к сети. Для обеспечения питания зарядных станций выбраны трёхфазные гибридные инверторы Sila Pro 15000MH [7]

номинальной мощностью 15 кВт, которые способны работать вне электросети. Эта конфигурация стала основой для формирования автономной системы электропитания станции.

3. Далее проанализирована базовая автономная схема, в которой фотоэлектрические модули (ФЭМ) подключаются к инвертору, а аккумуляторная батарея (АКБ) служит буфером между генерацией и нагрузкой (рис. 2). Такая структура проста и эффективна при стабильной радиации, но чувствительна к колебаниям солнечного потока: при снижении выработки энергии уровень заряда АКБ уменьшается, что может приводить к нехватке мощности для зарядных станций. Эти ограничения обусловили необходимость перехода к более комплексной схеме с распределением потоков энергии через общую шину постоянного тока.

4. Финальным этапом проектирования стало формирование интегрированной схемы, в которой все инверторы подключаются к единой шине постоянного тока (рис. 3). К ней через контроллеры заряда подключаются два аккумуляторных массива (АКБ-1 и АКБ-2), работающие в чередующемся режиме: пока один массив разряжается, второй заряжается от фотоэлектрических модулей.

Такое решение обеспечивает непрерывность энергоснабжения потребителя и сглаживает пики нагрузки. Общая мощность аккумуляторной системы составляет 2027,52 кВт·ч (по 1013,76 кВт·ч на каждый массив). Каждый массив включает 396 аккумуляторов Ereper LFP 12-200 [8], соединённых по схеме «четыре модуля последовательно по 99 параллельно» (схема 99P4S), что формирует номинальное напряжение 48 В (рис. 4). Подключение по схеме 99P4S обеспечивает баланс между током заряда, надёжностью и сроком службы аккумуляторов.

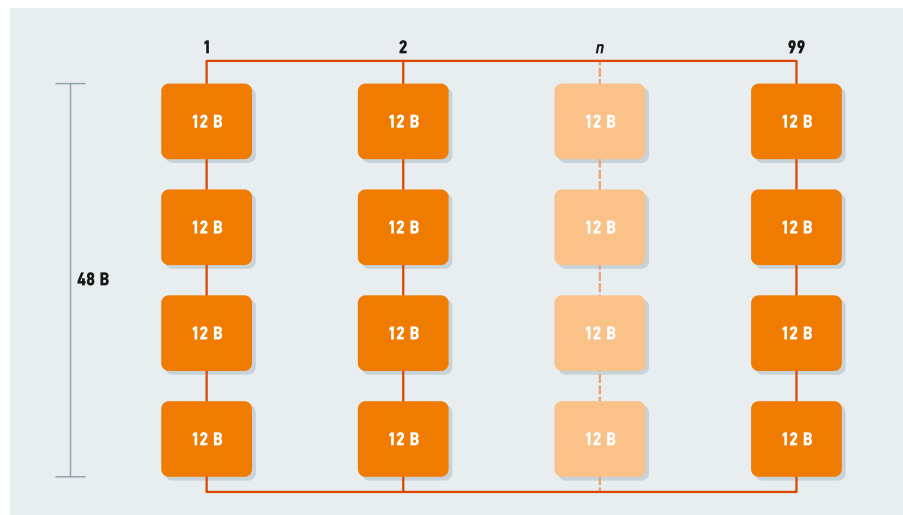


Рис. 4. Схема подключения аккумуляторов для одного массива

Солнечные модули SilaSolar 580/725 Вт TOPCon [9] обеспечивают необходимую выработку энергии для подзаряда АКБ, в том числе в зимний период, и питание инверторов при пиковых нагрузках. Контроллеры заряда Epever Tracer-AN MPPT [10] выполняют функции распределения потоков мощности между аккумуляторными массивами и системой управления, поддерживая оптимальные режимы заряда и предотвращая перезаряд.

Основные результаты

В результате проектирования выбрана структура автономной энергосистемы, включающая три типа зарядных станций: Engy Energy CS6.2 (40 кВт) [11], Engy Energy 44 кВт (двухпортовая) [12], Energysplendor ACGD1 (11 кВт, 2 шт.) [13]. Совокупно комплекс обеспечивает зарядку 106 электромобилей в сутки, что превышает плановый показатель. Инверторное оборудование выбрано типа Sila Pro 15000МН (15 кВт) [7], гибридный трёхфазный солнечный инвертор (9 единиц). В качестве АКБ выбраны литий-железо-фосфатные (LiFePO₄, LFP) аккумуляторные батареи Epever LFP 12-200 [8], общая ёмкость двух массивов составляет 2027,52 кВт·ч. Контроллеры заряда — Epever Tracer 10420AN (100 А) [10], солнечные модули — SilaSolar 580/725 Вт TOPCon [9] в количестве 3608 шт. Разработанная система обеспечивает питание всех станций в автономном режиме работы.

Предварительный расчёт показывает, что реализация проектируемой зарядной станции на фотоэлектрических модулях в городе Краснодаре позволит снизить выбросы углекислого газа примерно на 343–377 тонн CO₂-эквивалента в год по сравнению с питанием от электрической сети (средний удельный выброс равен 0,441 кг CO₂-экв/кВт·ч [14]).

Обсуждение

Анализ показал, что технически проект реализуем, а выбранные решения обеспечивают высокую эффективность. Солнечная энергия в Краснодарском крае достаточна для стабильной работы даже в зимние месяцы. Использование литий-железо-фосфатных аккумуляторов с большим числом циклов «заряд-разряд» значительно повышает надёжность и срок службы системы.

Несмотря на высокие капитальные затраты, эксплуатационные преимущества очевидны: отсутствие затрат на сетевую электроэнергию, низкие эксплуатационные расходы и минимальный углеродный след. В перспективе, с учётом снижения стоимости аккумуляторов и фотоэлектри-



ческих модулей, срок окупаемости подобных установок существенно сократится.

Инженерная ценность проекта заключается также в применении альтернативной схемы подключения аккумуляторных массивов, позволяющей чередовать работу групп АКБ и тем самым увеличивать их ресурс. Введение «интеллектуальных» систем управления (Energy Management System, EMS) и дистанционного мониторинга создаёт возможности для гибридизации, интеграции с ветровыми и гидрогенераторами, а также для оптимизации режимов зарядки. С практической точки зрения предложенная схема может быть использована для электрификации удалённых территорий, придорожных комплексов и инфраструктуры аграрных регионов. Она может стать прототипом для малых энергетических кластеров и «умных» транспортных узлов.

Заключение

Разработан обоснованный проект автономной зарядной станции для электромобилей на основе фотоэлектрических модулей, инверторов и накопителей энергии. Проведены расчёты мощности и по-

добраны компоненты системы, обеспечивающие зарядку до 100 электромобилей в сутки. Ключевые выводы исследования:

1. Применение солнечной энергии и аккумуляторных систем обеспечивает автономность зарядных станций и снижает нагрузку на энергосети.

2. Использование современных литий-железо-фосфатных аккумуляторов и гибридных инверторов повышает надёжность и долговечность системы.

3. Экологический эффект заключается в полном отсутствии прямых выбросов CO₂ и сокращении углеродного следа транспортного сектора.

4. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка интеллектуальных алгоритмов управления энергией и экономическая оптимизация жизненного цикла станции.

Таким образом, представленное исследование демонстрирует технологическую реализуемость и высокий потенциал автономных зарядных комплексов для южных регионов России, что способствует достижению национальных целей по устойчивому развитию энергетики и транспорта. ●

1. Innovation outlook: Smart charging for electric vehicles. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi, UAE. 2019. 138 p.
2. Состояние и перспективы развития рынка зарядной инфраструктуры для электротранспорта в России и мире: аналитический отчёт [Электр. ресурс]. Ассоциация «ГЛОБАСС/ГНСС-Форум». 2023. Режим доступа: drive.google.com. Дата обрац.: 10.10.2025.
3. Renewables 2025: Analysis and forecasts to 2030. International Energy Agency (IEA). Paris, France. October 2025. 238 p.
4. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [Электр. ресурс]. European Commission. 2025. Режим доступа: re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en. Дата обрац.: 24.10.2025.
5. Global Solar Atlas 2.0 [Электр. ресурс]. Solargis; World Bank Group (WBG); Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). 2025. Режим доступа: global-solaratlas.info/map. Дата обрац.: 24.10.2025.
6. Макаренко В. ТОП-20 самых популярных электрокаров в России [Электр. текст]. 4PDA от 19.04.2023. Режим доступа: 4pda.to. Дата обрац.: 20.10.2025.
7. Гибридный трёхфазный солнечный инвертор Sila Pro 15000МН [Электр. текст]. «Технолайн». Режим доступа: e-solarpower.ru. Дата обрац.: 22.10.2025.
8. LiFePO₄ аккумулятор Epever LFP 12-200 (2,56 кВт·ч) [Электр. текст]. «Технолайн». Режим доступа: e-solar-power.ru. Дата обрац.: 24.10.2025.
9. Солнечная батарея SilaSolar 580/725Вт TOPCon [Электр. текст]. «Технолайн». Режим доступа: e-solar-power.ru. Дата обрац.: 25.10.2025.
10. Контроллер заряда Epever Tracer 10420AN 100A [Электр. текст]. «Технолайн». Режим доступа: e-solar-power.ru. Дата обрац.: 24.10.2025.
11. Зарядная станция CS6.2 40 кВт [Электр. текст]. Engy Energy. Режим доступа: engy-energy.ru. Дата обрац.: 26.06.2024.
12. Зарядная станция CS2.2 44 кВт [Электр. текст]. Engy Energy. Режим доступа: engy-energy.ru. Дата обрац.: 24.10.2025.
13. EVAC-GD 11KW Wall Mount Charger [Электр. текст]. Energysplendor. Режим доступа: energy-splendor.com. Дата обрац.: 25.10.2025.
14. Global Electricity Review 2024: World passes 30 % renewable electricity milestone. Ember. London, UK. May 2024. 191 p.

References — see page 79.

Charging station for electric vehicles powered by solar photovoltaic converters in the Krasnodar city area. Pp. 65–67.

Sergey Al. Dmitriev, Master's student, Department of Hydropower and Renewable Energy Sources (GIE), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MEI"); **Daniel Adrian Perez Moscote**, PhD, Associate Professor, Department of GIE, NRU "MEI"

1. Innovation outlook: Smart charging for electric vehicles. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi, UAE. 2019. 138 p.
2. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya rynka zaryadnoj infrastruktury dlya elektrotransporta v Rossii i mir: analiticheskij otchet [The current state and development prospects of the electric vehicle charging infrastructure market in Russia and globally: An analytical report]. Assotsiatsiya "GLONASS/GNSS-Forum" ["GLONASS/GNSS-Forum" Association of Developers, Manufacturers, and Consumers of Equipment and Applications Based on Global Navigation Satellite Systems]. 2023. Web-source: drive.google.com. Access date: October 10, 2025. [In Russian]
3. Renewables 2025: Analysis and forecasts to 2030. International Energy Agency (IEA). Paris, France. October 2025. 238 p.
4. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). European Commission. 2025. Web-source: re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en. Access date: October 24, 2025.
5. Global Solar Atlas 2.0. Solargis; World Bank Group (WBG); Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). 2025. Web-source: globalsolaratlas.info/map. Access date: October 24, 2025.
6. V. Makarenko. TOP-20 samykh populyarnykh elektrokarov v Rossii [TOP 20 most popular electric cars in Russia]. 4PDA of April 19, 2023. Web-source: 4pda.to. Access date: October 20, 2025. [In Russian]
7. Gibridnyy trekhfaznyy solnechnyy invertor Sila Pro 15000MKh [Sila Pro 15000MH Hybrid Three-Phase Solar Inverter]. "Tekhnolajn" ["Technoline"]. Web-source: e-solarpower.ru. Access date: October 22, 2025. [In Russian]
8. LiFePO₄ akkumulyator Epever LFP 12-200 (2,56 kVt·ch) [Epever LFP 12-200 LiFePO₄ Battery (2.56 kWh)]. "Tekhnolajn" ["Technoline"]. Web-source: e-solarpower.ru. Access date: October 24, 2025. [In Russian]
9. Solnechnaya batariya SilaSolar 580/725Vt TOPTson [SilaSolar 580/725W TOPCon Solar Panel]. "Tekhnolajn" ["Technoline"]. Web-source: e-solarpower.ru. Access date: October 25, 2025. [In Russian]
10. Kontroller zaryada Epever Tracer 10420AN 100A [Epever Tracer 10420AN 100A Charge Controller]. "Tekhnolajn" ["Technoline"]. Web-source: e-solarpower.ru. Access date: October 24, 2025. [In Russian]
11. Zaryadnaya stantsiya TsS6.2 40 kVt [CS6.2 40 kW Charging Station]. Engy Energy. Web-source: engy-energy.ru. Access date: June 26, 2024. [In Russian]
12. Zaryadnaya stantsiya TsS2.2 44 kVt [CS2.2 44 kW Charging Station]. Engy Energy. Web-source: engy-energy.ru. Access date: October 24, 2025. [In Russian]
13. EVAC-GD 11KW Wall Mount Charger. Energysplendor. Web-source: energy-splendor.com. Access date: October 25, 2025.
14. Global Electricity Review 2024: World passes 30% renewable electricity milestone. Ember. London, UK. May 2024. 191 p.