

УДК 620.9

Арутюнян Марианна Славиковна, старший преподаватель,
Кубанский государственный технологический университет
Arutunyan Marianna Slavikovna, Senior Lecturer,
Kuban State Technological University

Садовой Никита Константинович, магистр,
Кубанский государственный технологический университет
Sadovoy Nikita Konstantinovich, Master's Degree,
Kuban State Technological University

Александров Николай Владимирович, магистр,
Кубанский государственный технологический университет
Aleksandrov Nikolai Vladimirovich, Master's Degree,
Kuban State Technological University

Минаков Василий Леонидович, магистр,
Кубанский государственный технологический университет
Minakov Vasilii Leonidovich, Master's Degree,
Kuban State Technological University

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
АВТОНОМНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В УСЛОВИЯХ
УДАЛЕННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
ENGINEERING SOLUTIONS FOR ENSURING ENERGY AUTONOMY
OF INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSES IN REMOTE
AND HARD-TO-REACH AREAS**

Аннотация. Статья посвящена анализу инженерных подходов к формированию автономных систем энергоснабжения индивидуальных жилых домов, расположенных на удаленных и труднодоступных территориях Российской Федерации. Рассмотрены технологические решения на базе возобновляемых источников энергии, гибридных комплексов, накопителей и тепловых насосов, применяемые взамен централизованного электроснабжения там, где подключение к сети технически затруднено или экономически нецелесообразно. Показано, что комбинирование солнечной, ветровой генерации и резервных дизельных установок позволяет существенно снизить зависимость от привозного топлива. Отдельное внимание уделено экономическим и нормативным аспектам, включая законодательство о микрогенерации. Новизна работы заключается в систематизации критериев выбора инженерных решений применительно к условиям малой этажности и рассредоточенного проживания. Материал может быть полезен проектировщикам, застройщикам и специалистам региональных энергетических служб.

Abstract. The article analyzes engineering approaches to creating autonomous energy supply systems for individual residential houses located in remote and hard-to-reach areas of the Russian Federation. Technological solutions based on renewable energy sources, hybrid complexes, storage systems, and heat pumps are examined as alternatives to centralized power supply where grid connection is technically difficult or economically unjustified. It is shown that combining solar and wind generation with backup diesel units significantly reduces dependence on imported fuel. Special



attention is paid to economic and regulatory aspects, including microgeneration legislation. The novelty lies in systematizing selection criteria for engineering solutions applicable to low-rise, dispersed settlement conditions. The material may be useful for designers, developers, and regional energy service specialists.

Ключевые слова: Энергетическая автономность, возобновляемые источники энергии, гибридные энергосистемы, удаленные территории, тепловые насосы, микрогенерация, индивидуальное жилищное строительство.

Keywords: Energy autonomy, renewable energy sources, hybrid energy systems, remote territories, heat pumps, microgeneration, individual housing construction.

Строительство линии электропередачи протяженностью в несколько десятков километров ради одного или нескольких домохозяйств редко окупается в разумные сроки. Именно с этой арифметики начинается любой разговор об энергетической автономности загородного или таежного дома. В районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера расстояние до ближайшей подстанции способно составлять сотни километров, а рельеф и климатические условия делают прокладку кабеля дорогостоящим и рискованным предприятием.

Отдаленность объектов от централизованного электроснабжения заставляет их владельцев обращаться либо к собственной генерации на углеводородном топливе, либо к альтернативным источникам энергии [1]. Топливом для выработки электроэнергии на удаленных объектах чаще всего служит керосин или дизель, который необходимо доставлять транспортом, а стоимость такой логистики многократно увеличивает итоговую цену киловатт-часа [1]. Получается странная, но устойчивая закономерность: чем дальше дом от цивилизации, тем дороже там обходится каждый час работы холодильника.

Изолированные энергетические системы в России обслуживают значительную часть территории страны, хотя проживает там относительно небольшая доля населения. Особенности эксплуатации таких систем связаны с оптимальным соотношением источников генерации различного типа, гарантированной мощностью резервов и требованиями к надежности бесперебойного электроснабжения [2]. Малая энергетика в изолированных энергосистемах предполагает отдельный подход к проектированию генерирующих источников, включающий, среди прочего, вопросы когенерации и тригенерации [2].

Здесь стоит сделать оговорку: далеко не все труднодоступные дома находятся в зоне вечной мерзлоты или таежной глухомани. Значительная часть запросов на автономное энергоснабжение поступает из вполне обжитых, но периферийных районов средней полосы – там, где сетевая инфраструктура физически изношена или строительство новых мощностей заморожено по экономическим причинам. Разница в подходах для этих двух категорий объектов принципиальна, и универсального решения нет, вопреки распространенному мнению маркетинговых материалов производителей солнечных панелей.

Фотоэлектрические установки остаются наиболее универсальным элементом автономного энергоснабжения, но их эффективность в разных регионах различается кардинально. Для регионов с преобладанием ясной погоды предпочтительны моно- и поликристаллические батареи, тогда как для средней полосы России с большим числом облачных дней технологии на основе аморфного кремния демонстрируют более стабильную выработку при рассеянном освещении.

Ветровая генерация решает часть проблем солнечной энергетики, компенсируя сезонное и суточное снижение инсоляции. Практика показывает: максимальная автономность достигается не за счет одного источника, а при комбинировании различных технологий генерации. Ветродизельный комплекс в поселке Новиково Корсаковского района



Сахалинской области служит показательным примером – он обеспечивает энергоснабжением населенный пункт, для которого является единственным источником генерации, с потреблением от 100 до 380 кВт в зависимости от сезона [1]. В 2023–2024 годах этот комплекс был модернизирован для повышения доступной степени замещения возобновляемых источников энергии в структуре генерации [1].

Отдаленность промышленных и жилых объектов от центрального электроснабжения предполагает либо строительство собственных генерирующих мощностей на углеводородном сырье, либо обращение к альтернативным источникам энергии для конечных потребителей [1]. Для индивидуального дома этот выбор упирается не столько в мощность, сколько в устойчивость снабжения зимой – период, когда солнечная генерация падает, а ветровая нагрузка может быть нестабильной по направлению и силе.

Таблица 1

Сравнительная характеристика инженерных решений для автономного энергоснабжения

Технология	Типичная мощность для дома	Преимущества	Ограничения
Фотоэлектрические панели	3–10 кВт	Низкие эксплуатационные затраты, модульность	Сезонная и суточная зависимость выработки
Ветрогенератор малой мощности	1–5 кВт	Работа в темное время суток, дополняет солнечную генерацию зимой	Зависимость от ветровой обстановки участка
Дизельный/бензиновый генератор	2–15 кВт	Высокая гарантированная мощность, простота обслуживания	Постоянные затраты на топливо и логистику
Тепловой насос	6–16 кВт (тепловая)	Снижение расходов на отопление в 2–4 раза, минимум ручного обслуживания	Высокая стоимость оборудования, снижение эффективности при экстремальных морозах
Гибридный комплекс (ВИЭ + накопитель + резерв)	индивидуально	Максимальная надежность круглогодично	Сложность проектирования и балансировки нагрузок

Тепловые насосы заслуживают отдельного упоминания, поскольку они меняют саму логику энергопотребления дома. Коэффициент энергоэффективности таких систем может достигать соотношения один к четырем, то есть на один потраченный киловатт электроэнергии дом получает до четырех киловатт тепловой энергии, что позволяет экономить до 40% на коммунальных платежах за содержание дома. Для удаленного участка это означает не просто экономию – это снижение зависимости от привозного топлива вроде дров, угля или баллонного газа, которые физически нужно доставлять, хранить и утилизировать после сгорания.

Геотермальные тепловые насосы типа «грунт-вода» дополнительно интересны тем, что их эффективность практически не зависит от температуры наружного воздуха, поскольку температура грунта на глубине залегания коллектора остается в диапазоне от плюс пяти до



плюс пятнадцати градусов независимо от сезона. Для домов в северных регионах, где воздушные тепловые насосы теряют производительность при экстремальных морозах, именно геотермальный контур становится практическим выходом – хотя стоимость земляных работ по укладке коллектора зачастую сопоставима со стоимостью самого насоса.

Батарея аккумуляторов – это не просто дополнение к генерирующим мощностям, а элемент, определяющий саму возможность автономного проживания. Без накопителя солнечная или ветровая установка работает только при наличии солнца или ветра здесь и сейчас, что мало отличается от отсутствия электроснабжения вовсе. Емкость аккумуляторного парка рассчитывается исходя из суточного профиля нагрузки конкретного домохозяйства, а не по универсальным таблицам производителей.

Цифровизация энергетического хозяйства – тема, которая при поверхностном взгляде может показаться избыточной для одного дома. Но практика внедрения систем интеллектуального энергоменеджмента на крупных промышленных объектах показывает логику, применимую и к меньшему масштабу: анализ потенциала внедрения таких систем позволяет прогнозировать экономический и экологический эффект на основе моделирования режимов работы оборудования [3]. Умные счетчики, автоматизированный контроль и программные комплексы анализа данных, изначально разрабатывавшиеся для промышленных предприятий, постепенно мигрируют в сегмент индивидуального жилья именно там, где ошибка в балансировке нагрузки стоит дорого – ведь резервного подключения к централизованной сети попросту нет [3].

Экономическая целесообразность автономных решений напрямую зависит от нормативной базы. Федеральный закон от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» задал общее направление государственной политики в сфере энергоэффективности зданий, включая индивидуальные жилые дома [4]. Отдельным этапом стало принятие закона о микрогенерации – Федерального закона от 27 декабря 2019 года № 471-ФЗ, внесшего изменения в базовое электроэнергетическое законодательство и разрешившего владельцам частных домов отдавать в сеть избыточную мощность собственной генерации [5]. Формально это открывает дорогу для гибридных схем, при которых дом одновременно потребляет и поставляет энергию – однако на практике для по-настоящему удаленных территорий, где сети нет физически, этот механизм неприменим по определению.

Стоимость оборудования по-прежнему остается сдерживающим фактором. Комплексная гибридная система, включающая солнечные панели, ветрогенератор, аккумуляторный парк и резервный генератор, обходится дороже, чем простое подключение к существующей сети, если такое подключение вообще технически возможно. Вопрос в другом – а есть ли альтернатива там, где сети нет и не будет в обозримой перспективе? Ответ здесь скорее риторический.

Экономика автономных энергокомплексов меняется по мере снижения цен на фотоэлектрические модули и литиевые накопители, произошедшего в последние несколько лет. Отдаленность промышленных объектов от центрального электроснабжения заставляла инвесторов еще недавно рассматривать только традиционную дизельную генерацию как безальтернативный вариант; сегодня же гибридные энергокомплексы на основе комбинации возобновляемых источников с традиционной генерацией и системами накопления рассматриваются как экономически оправданная альтернатива [1]. Для индивидуального жилого дома логика похожая, хотя масштаб инвестиций несопоставимо меньше.

Единого рецепта нет – и это, пожалуй, ключевой вывод из анализа накопленной практики. Выбор конкретной конфигурации инженерных решений определяется как минимум пятью параметрами:



- географическим положением участка и его инсоляцией в течение года;
- ветровым режимом местности, включая среднегодовую скорость ветра на высоте установки турбины;
- доступностью логистики для доставки топлива и оборудования, включая сезонность подъездных путей;
- профилем энергопотребления домохозяйства – постоянное или сезонное проживание, наличие энергоемкого оборудования;
- бюджетом на первоначальные капитальные вложения и готовностью к обслуживанию сложной техники.

Проектировщики нередко совершают одну и ту же ошибку: они закладывают избыточную генерирующую мощность, ориентируясь на пиковые нагрузки, вместо того чтобы работать с профилем среднесуточного потребления и накопителем достаточной емкости. Разница в подходе способна снизить капитальные затраты на треть без потери надежности снабжения – хотя эта закономерность прослеживается не во всех случаях, поскольку климатические аномалии способны на несколько недель нарушить любые расчетные модели.

Резервирование остается больным местом даже для продуманных проектов. Дизельный или бензиновый генератор в качестве резервного источника питания – решение почти универсальное, но требующее постоянного запаса топлива, что для по-настоящему изолированных домов означает необходимость завоза горючего заранее, до наступления сезона бездорожья. Отдельные домохозяйства, – особенно в регионах с ограниченной транспортной доступностью, – вынуждены закупать годовой запас топлива разом, замораживая существенные средства на месяцы вперед.

Перспектива развития отрасли связана, вероятнее всего, с дальнейшим удешевлением накопителей энергии и с распространением модульных гибридных комплексов заводской готовности, которые можно доставить на объект уже собранными, минимизируя долю монтажных работ на месте. Такие решения уже применяются для промышленных удаленных объектов и постепенно адаптируются под масштаб индивидуального жилья [1]. Насколько быстро этот процесс охватит массовый сегмент индивидуального жилищного строительства в удаленных регионах – вопрос открытый, требующий отдельного экономического мониторинга в горизонте ближайших пяти-семи лет.

Картина здесь неоднородная: в южных и центральных регионах России фотоэлектрическая генерация уже вполне конкурентоспособна по стоимости жизненного цикла, тогда как для северных территорий с длинной полярной ночью решающую роль по-прежнему играет либо ветровая генерация, либо гибридные схемы с дизельным резервом. Универсальное инженерное решение, подходящее одинаково для Краснодарского края и для Ямало-Ненецкого автономного округа, попросту не существует, и вряд ли появится в ближайшем будущем.

Формирование энергетически автономного индивидуального жилого дома в условиях удаленных территорий – задача, требующая индивидуального инженерного проектирования, а не применения типовых каталожных решений. Анализ показал, что наиболее устойчивые результаты достигаются при сочетании нескольких источников генерации – солнечной, ветровой и резервной дизельной – дополненных накопителем достаточной емкости и, где это климатически оправдано, тепловым насосом для отопительного контура.

Экономическая целесообразность таких проектов растет по мере снижения стоимости фотоэлектрических модулей и аккумуляторных систем, а также благодаря развитию нормативной базы, включая законодательство о микрогенерации. Вместе с тем ключевым ограничением остается высокая первоначальная капиталоемкость и необходимость точного расчета профиля нагрузки конкретного домохозяйства, без которого любая генерирующая мощность рискует оказаться избыточной либо недостаточной.



Практическая значимость систематизированных в статье критериев выбора заключается в возможности их использования проектными организациями и региональными энергетическими службами при разработке технических заданий для индивидуального жилищного строительства в труднодоступных районах. Дальнейшие исследования целесообразно направлять на экономическое моделирование жизненного цикла гибридных комплексов малой мощности применительно к конкретным климатическим зонам России, а также на изучение потенциала модульных заводских решений, способных сократить сроки и стоимость монтажа систем автономного энергоснабжения.

Список литературы:

1. Гибридные комплексы ВИЭ для энергоснабжения удаленных промышленных объектов // С.О.К. 2024. № 8. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/gibridnye-kompleksy-vie-dlya-energосnabzheniya-udalennyh-promyshlennyh-obektov> (дата обращения: 06.08.2026).
2. Программа видеокурса «Роль и место малой энергетики в структуре энергосистемы и экономики Российской Федерации». URL: <https://rosenergo.gov.ru/upload/iblock/eca/thobsde9h0x716v1uk7yc3qetozxe7jz.pdf> (дата обращения: 06.08.2026).
3. Рачковский И.Б., Яковлев А.Р. Оценка эффективности цифровой трансформации. Понимание цифровой трансформации // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82782972> (дата обращения: 06.08.2026).
4. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/ (дата обращения: 06.08.2026).
5. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_339420/ (дата обращения: 06.08.2026).

