

doi: 10.51639/2713-0576_2025_5_4_41

Научная статья

УДК 620.92

ГРНТИ 44.01.75, 44.09

ВАК 2.1.3

Сравнительный анализ эффективности альтернативных источников энергии на примере автономного жилого дома

*Иван Александрович Сулопаров**ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,**Калининград, Россия*[*ivansusloparovik@gmail.com*](mailto:ivansusloparovik@gmail.com)

Аннотация

В статье представлены достоинства и недостатки применения альтернативных источников энергии в качестве основных для домохозяйства, описаны возможности и условия применения, сделаны выводы об оптимальности применения источников и их комбинаций, исходя из исходных данных объекта.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, возобновляемая энергия, солнечная энергия, энергия ветра, тепловой насос, биотопливо, домохозяйство.

Введение

Возобновляемая, регенеративная, «зелёная», энергия — энергия, получаемая из энергетических ресурсов, которые являются возобновляемыми/неисчерпаемыми по человеческим масштабам. Возобновляемая энергия генерируется из постоянно происходящих в природе процессов или органических ресурсов. Ее получают из процессов, таких как: солнечный свет, движение воздушных масс и водных потоков, геотермальная теплота, которые являются постоянными и прогнозируемыми, а также из биотоплива: древесины, биогаза и т.д. Возобновляемую энергию можно использовать в промышленных масштабах, например для энергоснабжения предприятия или поселка. В таком случае замена ТЭС для выработки электроэнергии на ветровые установки позволяет не только существенно сократить расходы на топливную составляющую при генерации, но и обеспечить лучшие экологические показатели [1].

В данной работе рассмотрены возобновляемые источники энергии и ресурсов как альтернатива энергоснабжения через муниципальные сети, или как единственный возможный вариант для конкретного объекта при невозможности прокладки или неэффективности работы районных сетей. Для каждой инженерной сети, необходимой для комфортного проживания и ведения деятельности в частном доме, подбирается несколько источников возобновляемой энергии. Проведен сравнительный анализ возможных альтернативных источников энергии/ресурса для каждой конкретной инженерной сети с целью рассмотреть их с точки зрения эффективности, окупаемости вложений и прочих показателей.

В качестве объекта принимается двухэтажный частный жилой дом с хозяйством (ферма, теплица) площадью 200 м², в котором проживает 6 человек. Потребность в энергоснабжении – 40 кВт (25 кВт из них на отопление). Помимо энергогенерирующего оборудования, также потребуются тепло- и электроаккумуляторы.

В качестве источников энергоснабжения по отдельности рассмотрены: солнечная энергия, ветровая, геотермальная и аэротермальная энергия, энергия биомассы. Цель работы – предварительный анализ эффективности и окупаемости для различных источников энергии и их комбинаций.

1. Солнечная энергия

Солнечная энергетика использует солнечный свет как источник энергии. Такая энергия не производит вредных отходов во время использования, однако под вопросом экологичность производства и утилизации необходимого оборудования – аккумуляторов и т.д.

Если предполагается полностью покрыть потребность дома в электроэнергии за счет установки солнечных панелей, то наиболее эффективно они будут работать в регионах с высокой интенсивностью солнечной радиации (см. рис. 1 [2]), что накладывает существенные ограничения на использование солнечных панелей в качестве основного источника энергии.

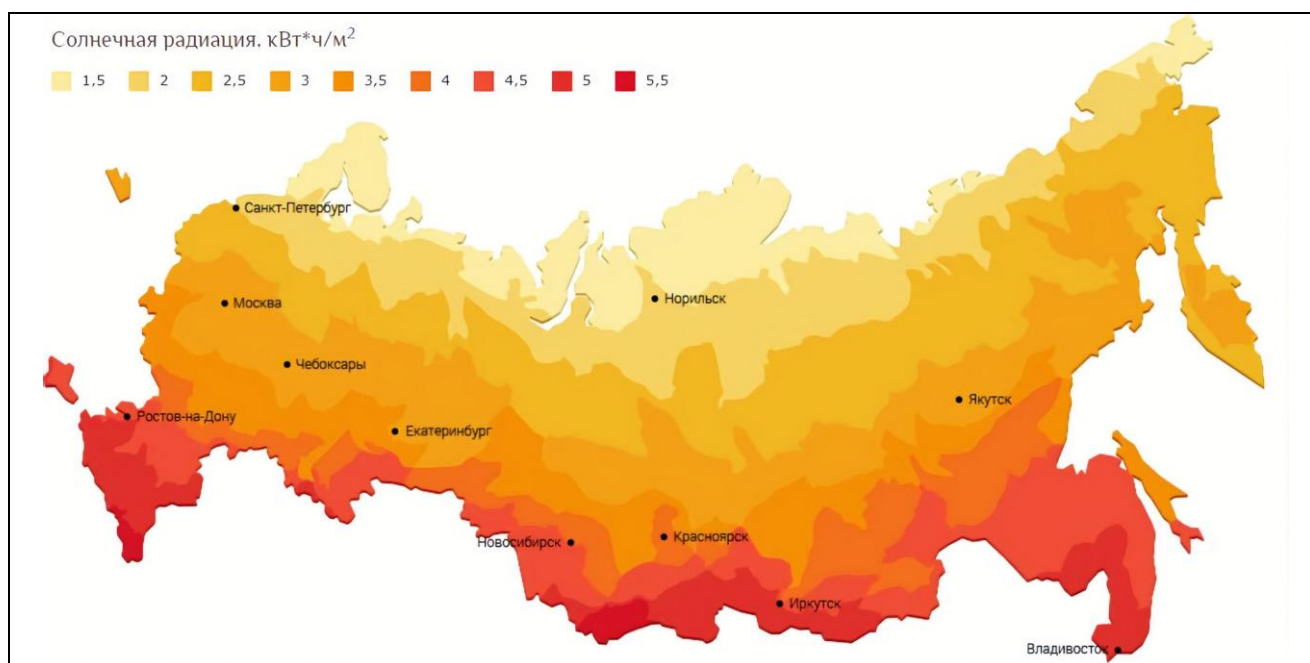


Рис. 1 - Интенсивность солнечной радиации (кВт/м²) на карте России

На данный момент наибольшее развитие и применение получили несколько типов солнечных панелей. 1 тип - монокристаллические панели изготавливаются из одного кристалла кремния и обладают высокой эффективностью (15-22 %). Особенности данного типа – наибольшая эффективность, компактный размер, и как следствие, дороговизна. 2 тип - поликристаллические панели изготавливаются из множества кристаллов. Особенности - меньшая эффективность (13-16 %), ниже себестоимость, но требуют больше пространства по сравнению с монокристаллическими. 3 тип - тонкоплёночные панели изготавливаются из тонких слоёв полупроводниковых материалов (например, кадмий-теллурид или аморфный кремний). Особенности - они гибкие и легкие, но имеют самую низкую эффективность среди всех типов (10-12 %) [3].

Наиболее эффективными принято считать монокристаллические солнечные панели, примем их для дальнейшей работы.

Определимся с типоразмером и приемом монокристаллические солнечные модули повышенной эффективности TCM-230SB мощностью 230 Вт [4]. Таким образом, на полную потребность в электроснабжении здания необходимо 174 подобных панели. Габариты одной панели – 1578x815x40 мм (см. рис. 2), что даже с учетом установки панели под углом требует значительного пространства для их размещения.



Рис. 2 - Солнечные модули повышенной эффективности TCM-230SB

2. Ветровая энергия

Ветроэнергетика специализируется на преобразовании кинетической энергии воздушной массы в любую другую, пригодную для использования в хозяйстве. Энергия ветра – это следствие активности Солнца.

Ветровой энергетический потенциал России в несколько раз превышает сегодняшние потребности страны в электроэнергии, однако распределен он крайне неравномерно.

Как это видно на карте (см. рис. 3 [6]), высокой интенсивностью ветрового режима отличаются северная и восточная прибрежные зоны, побережье Каспийского моря, Сахалин и некоторые южные районы.

Здесь среднегодовые скорости ветра превышают необходимые 7 м/с для нормальной работы ветрогенератора.

На остальной территории скорость ветра крайне редко достигает 4,5 м/с, и для использования ветряков на этой территории необходимо дополнительное оборудование.

Современные лопастные ветроэлектро-генераторы с коэффициентом использования установленной мощности (Киум) выше 30 %, вырабатывающие электричество, работают при среднегодовой скорости ветра более 7 м/с. При скоростях ветра от 3,5 – 7 м/с конструкции традиционных ВЭУ неприменимы и неэффективны, так как Киум составляет менее 10 %. Повышение эффективности использования ветра при среднепериодических скоростях от 3,5 до 7 м/сек возможно следующими путями:

- концентрация низкопотенциальных ветровых потоков;
- ускорение ветрового потока в плоскости ветроколеса [5]

Как видно, применение ветровой энергии также существенно ограничено географически, для использования в районах с низкими скоростями ветра необходима дополнительная установка на ветряк различных конфузоров, преобразователей и ускорителей потока, что ведет к сильному удорожанию проекта (см. рис. 4).



Рис. 3 - Карта ветроэнергетических ресурсов России

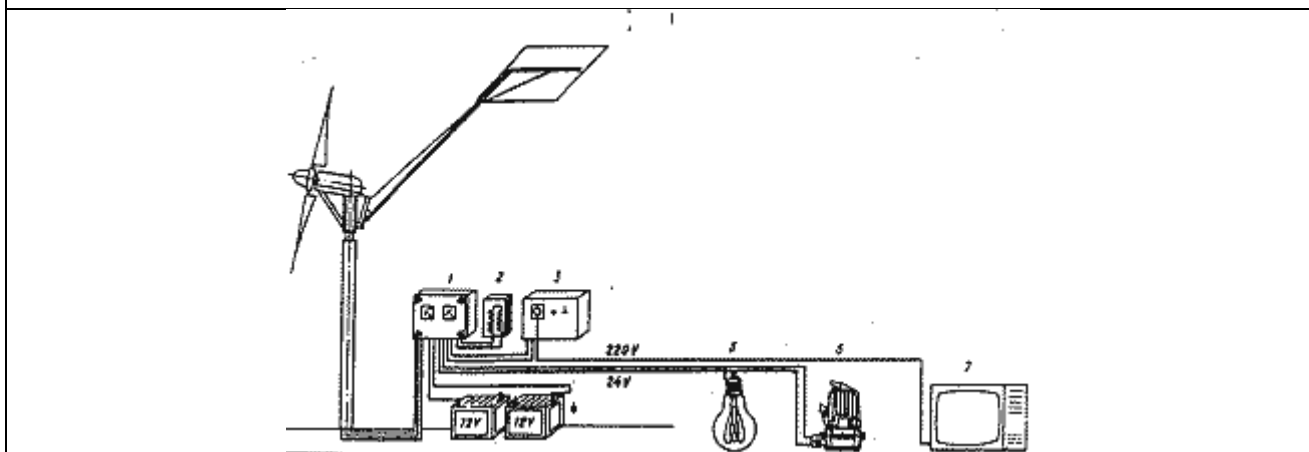


Рис. 4 - ВЭУ с выходным напряжением 220 В переменного тока

1 - регулятор напряжения; 2 - балластное сопротивление; 3 - инвертор; 4 - аккумуляторная батарея; 5 - освещение, бытовые электроприборы; 6 - водяные насосы; 7 - теле- и радиоаппаратура на 220 В

Для того, чтобы полностью покрыть энергопотребность домохозяйства, необходимо 8 ветроустановок ЛМВ3600 мощностью 5 кВт [7], чтобы полностью покрывать потребность в электроснабжении здания.

3. Геотермальная и аэротермальная энергия

Геотермальная энергетика основана на использовании теплового потока, текущего из недр Земли. Данную энергию можно преобразовать в электрическую с помощью геотермальной электростанции или применять непосредственно для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения. Аэротермальная энергетика использует и преобразует извлеченное из воздуха тепло (даже при низких температурах) с помощью воздушного

теплового насоса. Некоторые воздушные тепловые насосы синергируют с солнечными установками, уменьшая процент неиспользуемой энергии, улавливаемой панелями. Однако в очень холодном климате воздушный тепловой насос будет неэффективен.

Данные виды энергии можно получить из окружающей среды, земли и воздуха соответственно, с помощью различных видов тепловых насосов. Независимо от вида насоса, принцип работы у них общий, рассмотрим его (рис. 5, [8]).



Рис. 5 - Принцип работы теплового насоса

Для того, чтобы описать принцип работы теплового насоса, его устройство можно разделить на четыре основных элемента: компрессор, который сжимает хладагент для повышения его давления и температуры. Расширительный клапан — терморегулирующий вентиль, который резко понижает давление хладагента. испаритель — теплообменник, в котором хладагент с низкой температурой поглощает тепло от окружающей среды. конденсатор — теплообменник, в котором уже горячий хладагент после сжатия передает тепло в рабочую среду отопительного контура. Следовательно, рабочий цикл теплового насоса можно разделить на следующие четыре этапа:

- Поглощение тепла из окружающей среды (кипение хладагента). В испаритель (теплообменник) поступает хладагент, который находится в жидком состоянии и имеет низкое давление. При низкой температуре хладагент способен закипать и испаряться. Процесс испарения необходим для того, чтобы вещество поглотило тепло. Согласно второму закону термодинамики тепло передается от тела с высокой температурой к телу с более низкой температурой. Именно на этом этапе работы теплового насоса хладагент с низкой температурой проходя по теплообменнику отбирает тепло от теплоносителя (рассола), который ранее поднялся из скважин, где отобрал низкопотенциальное тепло грунта.

- Сжатие хладагента компрессором. На этом этапе хладагент в газообразном состоянии попадает в компрессор, где компрессор сжимает фреон, который за счет резкого увеличения давления нагревается до определенной температуры. Фреон — это вещество, которое относится к искусственным синтезированным газам. Этот газ используется не только в работе грунтового устройства грунт вода, но также в конструкции холодильников и кондиционеров. Когда фреон нагревается до $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, он начинает закипать и переходит в газообразное состояние. В компрессоре он сжимается до 26 атмосфер. Именно под воздействием такого давления температура этих газов поднимается до $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$, а иногда и до $+750\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Передача тепла в систему отопления (конденсация). После сжатия в компрессоре хладагент, который имеет высокую температуру поступает в конденсатор. В данном случае конденсатор — это тоже теплообменник, в котором во время конденсации происходит отдача тепла от хладагента к рабочей среде отопительного контура (например воде в системе теплых полов, или радиаторов отопления). В конденсаторе хладагент из газовой фазы снова переходит в жидкую. Этот процесс сопровождается выделением тепла, которое используется для системы отопления в доме и горячего водоснабжения (ГВС). Но когда происходит теплоотдача воде в системе отопления, то теряется от 10 до 150°. Понижение давления хладагента (расширение). Отдав тепло, фреон остывает, показатель давления опускается до 4 атмосфер. Это так называемый эффект дросселирования. Далее происходит полное охлаждение до 0 С°, и фреон переходит опять в жидкое состояние. Теперь жидкий хладагент нужно подготовить к повторению рабочего цикла. Для этого хладагент проходит через узкое отверстие терморегулирующего вентиля (расширительного клапана). После «продавливания» через узкое отверстие дросселя хладагент расширяется, вследствие чего падает его температура и давление [9].

Геотермальный тепловой насос — система центрального отопления и/или охлаждения, использующая тепло земли, тип теплового насоса. Земля в геотермальных системах является радиатором в летний период или источником тепла в зимний период. Разница температур грунта используется, чтобы повысить эффективность и снизить эксплуатационные расходы системы обогрева и охлаждения, и может дополняться солнечным отоплением. Геотермальные тепловые насосы используют явление тепловой инерции: температура земли ниже 6 метров примерно равна среднегодовой температуре воздуха в данной местности и слабо изменяется в течение года.

Наиболее эффективной считается горизонтальная закрытая система (см. рис. 6 [10]).

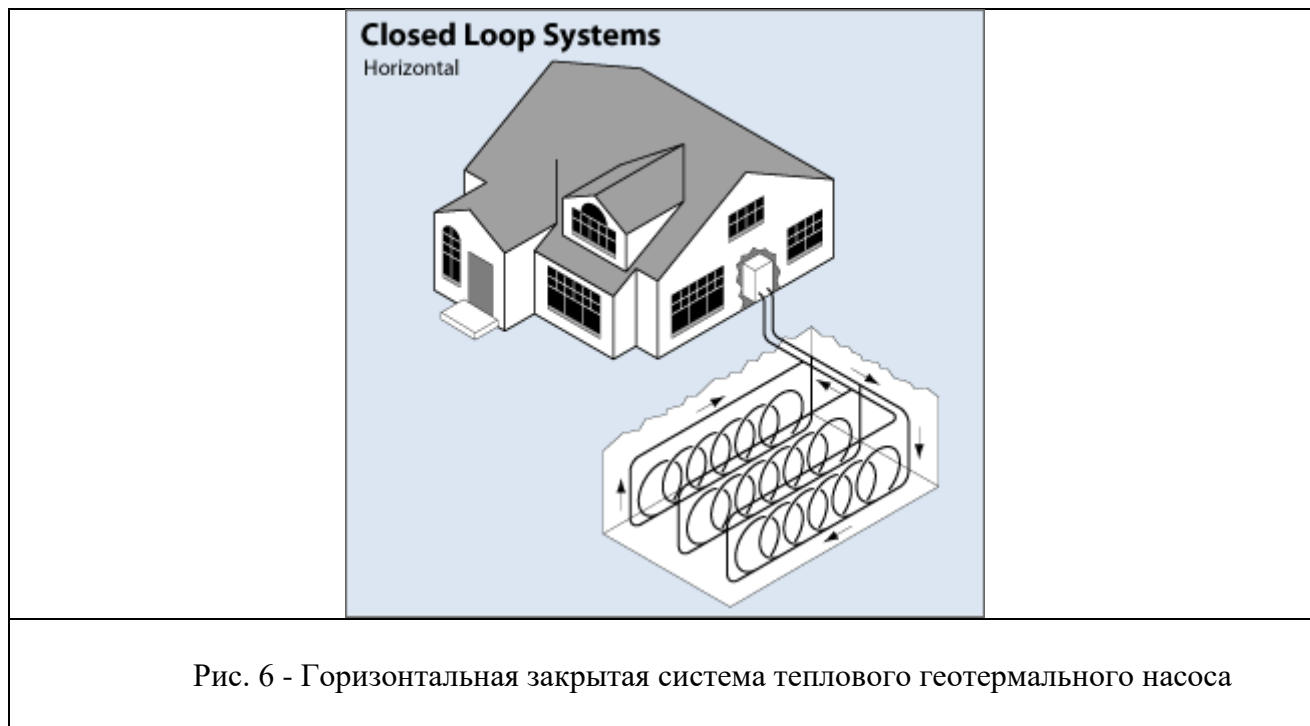


Рис. 6 - Горизонтальная закрытая система теплового геотермального насоса

Примем тепловой насос STIEBEL ELTRON WPF 40 G с максимальной тепловой мощностью 45,7 кВт [11]. Также необходимо учесть, что тепловой насос сам нуждается в источнике электроэнергии, в нашем случае 9,4 кВт, что весьма существенно. Таким образом, на использование геотермального насоса также накладывается ограничение в виде дополнительного источника энергии.

Установка воздушного теплового насоса происходит гораздо проще, в отличие от геотермального, так как не требует копания траншей и котлованов, но воздушному насосу также необходим внешний источник энергии.

Итого для нашего проекта требуется 3 воздушных тепловых насоса Aquaviva с максимальной тепловой мощностью 15,2 кВт каждый [12].

4. Энергия биотоплива

Биотопливо – топливо из сырья растительного или животного происхождения, органических отходов, продуктов жизнедеятельности организмов.

Биотопливо можно разделить на два основных вида – жидкое и твердое. Принципиально они отличаются технологией производства, географией и областью применения.

Под жидким биотопливом, как правило, имеют ввиду биоэтанол и биодизель. С развитием технологии производства сменялись т.н. поколения, к биотопливу первого поколения относят топливо, получаемое традиционными технологиями из сахара, крахмала, растительного масла и животного жира. Второе поколение – топливо из древесины и другой биомассы, из которой удалены составляющие, пригодные в пищевой промышленности. Наиболее перспективным выглядит третье поколение, получаемое из водорослей.

Твердое биотопливо – древесные пеллеты (наиболее популярны) и древесные брикеты. Их, как правило, получают от утилизации отходов лесопереработки, но это не всегда бывает выгодно лесозаготавливающим предприятиям, так как необходима дополнительная сортировка, транспортировка и сушка древесины [13]. Данное топливо в качестве источника энергии для проекта рассматриваться не будет, так как на объекте отсутствует лесозаготавливающее производство.

В России и других странах для расширения возможностей получения более дешевых видов биодизельного топлива изучаются следующие виды растений: рыжик яровой, виды борщевика, сафлор красильный, виды дурнишника, амарант хвостатый, виды гулявника, ярутка полевая, виды желтушника, клещевник полевой, конрингия восточная, цикорий обыкновенный, фенхель обыкновенный, огуречник лекарственный, виды рода чернушка (черный тмин). Указанные виды в основном являются сорными однолетниками, некоторые обладают лекарственными свойствами и/или ядовиты. Затраты на выращивание сорных растений минимальны, семенная продуктивность их довольно высока (50...80 тыс. семян на одном растении), а выход масла составляет от 10 до 60 % [14].

Ввиду наличия на объекте животноводческой фермы как источник энергии можно рассмотреть биогаз. Биогаз получается в результате сбраживания навоза. Для использования биогаза в качестве альтернативного топлива для поршневых двигателей необходима его очистка от ненужных примесей. При этом в биотопливе повышается содержание метана, что улучшает качество топлива. В статье приведены результаты исследований по использованию природных цеолитов месторождения «Хонгуруу» в Сунтарском улусе Республика Саха (Якутия) в качестве фильтрующего материала. При этом на выходе из фильтра получен биогаз с содержанием метана 93,3 %.

Биогаз получают в основном по технологической схеме, представленной на рис. 7 [15]. Полученный в метантенке 1 биогаз является сопутствующим продуктом анаэробного сбраживания. Его собирали в сухом газгольдере 4. Оттуда он всасывался компрессором высокого давления 6. При этом биогаз проходил через фильтр с цеолитовым наполнителем 5. Компрессором 6, очищенный биогаз загружался в газовые баллоны 7. В метантенке свежий навоз 2 сбраживается посредством включения специальной закваски 3. В результате получается качественное органическое удобрение – эффлюент и побочный продукт биогаз.

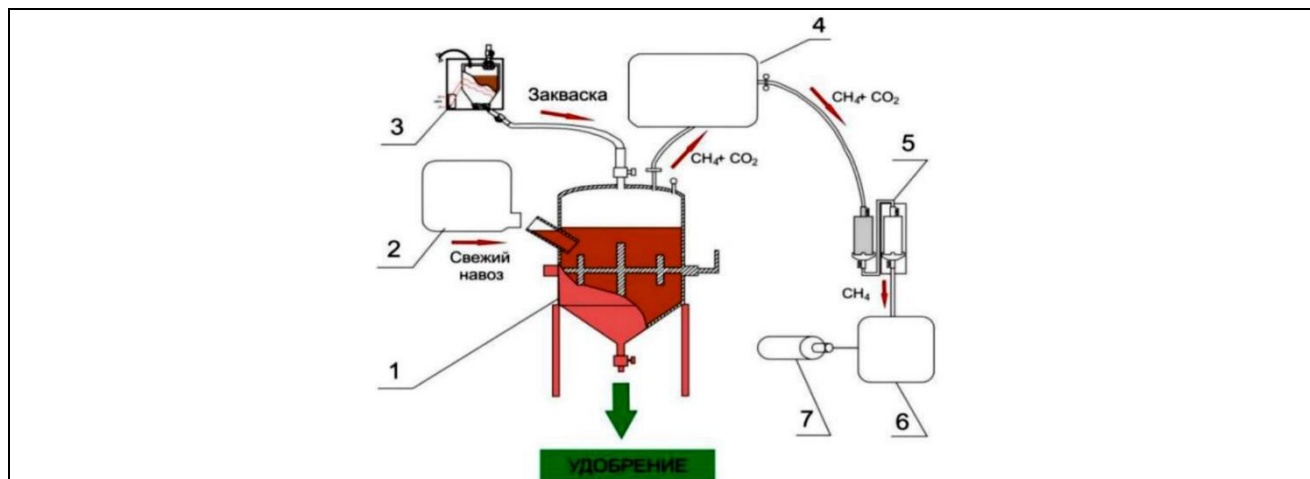


Рис. 7 - Принципиальная схема лабораторной установки анаэробной переработки бесподстилочного навоза КРС: 1 - метантенк; 2 - емкость для гомогенизации нативного навоза с водой; 3 - адаптационная установка; 4 - сухой газгольдер; 5 – фильтр для очистки биогаза; 6 – компрессор высокого давления; 7 – газовый баллон

Заключение

Как мы видим, для каждого рассмотренного источника возобновляемой энергии существует ряд ограничений при применении его для энергоснабжения домохозяйства. Применение солнечной и ветровой энергии ограничено географически: солнечную энергию уместно использовать в зонах с высокой интенсивностью тепловой радиации, ветровую – в зонах с высокими скоростями ветра, в противном случае грозит нерациональное повышение стоимости капитальных вложений, затрат на эксплуатацию и т. д. Тепловые насосы требуют собственный внешний подвод энергии, что не позволяет их использовать в качестве единственного источника энергоснабжения для объекта, необходима комбинация с другими источниками. Применение биотоплива требует наличия хозяйства – животноводческой фермы или выделенных земель исключительно для посадки сорняковых растений с целью их дальнейшей переработки в топливо. В зависимости от географии и прочих начальных условий можно найти оптимальную комбинацию источников альтернативной энергии для каждого конкретного объекта.

Отметим преимущества энергосистем с ВИЭ (возобновляемые источники энергии): повсеместность местонахождения, неисчерпаемость, минимальное влияние на окружающую среду, бесплатность, безопасность эксплуатации и достаточно высокая эстетичность. Следует отметить и недостатки: низкая интенсивность потока энергии, сравнительно высокая стоимость оборудования и низкая стабильность выходной мощности. Таким образом, в большинстве случаев при использовании в небольших энергокомплексах, ВИЭ будут более предпочтительными, чем ТЭР (топливно-энергетические ресурсы). Некоторые недостатки ВИЭ можно свести к минимуму, используя концентраторы и аккумуляторы энергии, а также возможно уменьшить стоимость капиталовложений и сократить время окупаемости с применением более совершенных систем преобразования энергии.

Конфликт интересов

Автор статьи заявляет, что на момент подачи статьи в редакцию, у него нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Немиш, М. Д. Применение автономных энергоустановок на возобновляемых источниках энергии на объектах нефтегазового комплекса / М. Д. Немиш, Р. А. Шестаков // Нефть и газ - 2023: Тезисы докладов 77-ой Международной молодежной научной конференции, Москва, 11–15 сентября 2023 года. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 2023. – С. 508-509. – EDN IOSGLO.
2. Инсоляция в России и угол наклона солнечных панелей – URL: <https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii> (дата обращения: 29.05.2025)
3. Апанасевич, В. А. Сравнение различных видов солнечных панелей и ветрогенераторов для энергоснабжения потребителей / В. А. Апанасевич // Наука, общество, инновации: актуальные вопросы современных исследований: сборник статей IV Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 апреля 2024 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. – С. 7-10. – EDN DHTQOU.
4. Дебрин, А. С. Обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций отечественных производителей / А. С. Дебрин, А. В. Бастрон, В. Н. Урсегов // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 6(141). – С. 136-141. – EDN YRIYMP.
5. Серебряков, Р. А. Современное состояние, проблемы и перспективы развития ветроэнергетики / Р. А. Серебряков, С. С. Доржиев, Е. Г. Базарова // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – № 1(30). – С. 89-96. – EDN XPTXPF.
6. Карта ветроэнергетических ресурсов России – URL: <https://www.nipom.ru/uploads/Новости/2018/june/ris30.jpg> (дата обращения: 29.05.2025)
7. Федорова, И. А. Использование ветроэнергетических установок для энергообеспечения жилых домов / И. А. Федорова // Стратегии развития современной науки : сборник научных статей. Том Часть 3. – Москва: Издательство "Перо", 2020. – С. 120-123. – EDN YZUMMU.
8. Тепловой насос воздух-вода SILA AM-12 I-EVI (HC) – URL: <https://e-solarpower.ru/teplovye-nasosy/dlya-doma-i-ofisa/teplovoy-nasos-vozduh-voda-sila-am-12-i-evi-hc/> (дата обращения: 29.05.2025)
9. Завальнюк, А. А. Применение грунтовых тепловых насосов в малоэтажном домостроении / А. А. Завальнюк // Молодой ученый. – 2020. – № 23(313). – С. 161-164. – EDN KMKRIL.
10. Types of Geothermal Heat Pump Systems – URL: https://web.archive.org/web/20120728050818/http://www.energysavers.gov/your_home/Space_heating_cooling/index.cfm/mytopic%3D12650 (дата обращения: 29.05.2025)
11. Геотермальный тепловой насос STIEBEL ELTRON WPF 40 G – URL: https://electro-shop.ru/teplovye_nasosy/geotermalnye/stiebel-eltron-wpf-40-g-shtibel-eltron/ (дата обращения: 29.05.2025)
12. Тепловой насос для дома Aquaviva AVH15S – URL: https://electro-shop.ru/teplovye_nasosy/vozdushnye/aquaviva-avh15s/ (дата обращения: 29.05.2025)
13. Костенко, А. В. Развитие рынка биотоплива в России и внедрение экологических требований к производству биотоплива / А. В. Костенко // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: Материалы II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–07 февраля 2012 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2012. – С. 128-139. – EDN HORIKI.
14. Перевоз, М. А. Биотопливо из растительного сырья / М. А. Перевоз // Техника и технологии: теория и практика. – 2023. – № 6(12). – С. 24-33. – DOI 10.34286/2712-7419-2023-12-6-24-33. – EDN QYOHED.

15. Хитерхеева, Н. С. Биогаз как топливо для поршневых двигателей / Н. С. Хитерхеева, Д. А. Васильева // Бойновские чтения: Сборник научных статей по материалам внутривузовской научно-практической конференции, Якутск, 03–04 апреля 2024 года. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2024. – С. 91-93. – EDN ENFYAH.
16. Бухарицин, П. И. Альтернативные источники энергии (учебно-методическое пособие по дисциплине "Альтернативные источники энергии") / П. И. Бухарицин // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 8-2. – С. 189. – EDN TZXNVD.

A comparative analysis of the efficiency of alternative energy sources using a stand-alone residential building as an example

Ivan Alexandrovich Susloparov
*Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia*
ivansusloparovik@gmail.com

Abstract

This article presents the advantages and disadvantages of using alternative energy sources as primary energy sources for a household, describes the possibilities and conditions for their use, and draws conclusions about the optimal use of sources and their combinations based on the initial site data.

Keywords: alternative energy sources, renewable energy, solar energy, wind energy, heat pump, biofuel, household.