

Использование автономных источников теплоснабжения

О. Н. Махов^{*,1}, П. С. Рыбкина^{*}, И. А. Буданов^{*}

^{} Ивановский государственный энергетический университет
имени В. И. Ленина, Иваново, Россия*

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы энергоэффективности различных типов автономных источников теплоснабжения (АИТ) и сравнение их с системами централизованного отопления. Дана краткая характеристика различных типов АИТ и проведён обзор их энергетических показателей на примере высотных и малоэтажных зданий, использующих альтернативные источники энергии (солнечную, ветряную и геотермальную). Рассмотрены примеры применения АИТ в странах с различными климатическими условиями. Определены перспективные задачи по внедрению автономных источников теплоснабжения, а именно: при благоприятном климате солнечные батареи, ветряные мельницы и геотермальные системы способны полностью снабжать теплом малоэтажные здания. Небоскребы при использовании автономных источников теплоснабжения существенно снижают затраты на коммунальные услуги, автономные источники теплоснабжения способны обеспечить до 30% от общих потребностей здания в энергии.

Ключевые слова

Энергосбережение, альтернативные источники, солнечные батареи, ветряные мельницы, геотермальные системы

Введение

Одной из важнейших задач, стоящих перед российскими энергетиками, является понижение общей энергозатратности национальной экономики. В нашей стране на долю строительной индустрии приходится до 45% от всей вырабатываемой энергии. На обогрев 1м² жилья в России расходуется в среднем 13 л топлива. В близкой к нам по климатическим условиям Канаде этот показатель составляет примерно 3,5–4 л в год [1]. Такие высокие энергозатраты делают вопрос об энергосбережении и применении экономичных автономных источников теплоснабжения

(АИТ) крайне актуальным на территории нашей страны. К 2035 планируется оптимизация построения систем теплоснабжения на основе модернизации теплосетевого комплекса с использованием наилучших доступных технологий, а также снижение негативного воздействия деятельности организаций топливно-энергетического комплекса на окружающую среду [2]. Для этого, во-первых, необходимо проанализировать систему централизованного теплоснабжения, во-вторых, определить возможность использования автономного теплоснабжения на территориях, удаленных от централизованных

¹ Для переписки

Email: makhoviv@yandex.ru

систем теплоснабжения. С этой целью необходимо провести работу по оценке эффективности централизованной и децентрализованной систем теплоснабжения. Стандарт СТО НОП 2.1–2014 «Требования к содержанию и расчету показателей энергетического паспорта проекта жилого и общественного здания» является началом формирования нормативно-правовой базы в этой области. В стандарте СТО НОП 2.1–2014 приводится не только полный состав энергетического паспорта, но и методики расчета всех составляющих теплового баланса здания, таблицы базового и нормируемого по годам строительства в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 18 удельных годовых расходов тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение для многоквартирных домов, многоквартирных отдельно стоящих и блокированных домов и общественных зданий различного назначения, по сравнению с которыми оценивается энергоэффективность проекта здания [3]. Энергоэффективность подразумевает применение энергосберегающих материалов [4], оптимальной системы теплоснабжения, а также использование новейших АИТ. В течение последних 100 лет России заняла первое место в мире по размеру централизованной системы теплоснабжения, на ее долю приходится более 40% от мирового производства тепловой энергии. Относительно небольшие населенные пункты с потреблением тепла до 500 тыс. Гкал/год создают огромную нагрузку на экономику, на их теплоснабжение идет до 15% от всего вырабатываемого тепла, но из-за необходимости готовиться к зиме, а также необходимости в обслуживании трубопровода, они тратят до 35% от всех бюджетных средств, выделяемых на теплоснабжение страны. Такие системы выделяются самыми высокими тарифами на теплоснабжение, которые

из-за низкой покупательской способности не способны окупить затраты на отопление, поэтому они имеют самый высокий уровень задолженности перед государством [5].

Целесообразность использования АИТ

Рассматривать целесообразность АИТ можно как для высотных зданий, так и для малоэтажных.

Высотными зданиями на территории Российской Федерации обычно называют общественные здания выше 55 метров и жилые строения высотой более 75 метров. На Западе высотные здания имеют высоту от 35 до 100 метров, а все здания выше 100м (В США и некоторых странах Европы — 150м) причисляют к небоскребам. Темпы, с которыми увеличивается число высотных зданий, поистине поражают. Однако объяснить это можно экономическим аспектом строительства, предпочтение отдается строениям, использующим энергосберегающие технологии и автономные системы отопления. Многоэтажные здания являются крайне сложными в плане проектирования и проведения коммуникаций: водоснабжения, противодымной и вентиляции общего назначения, систем эвакуации и противопожарной автоматики и т. д. [6]. Эти трудности в основном связаны с большой высотой строения, а также ограничениями, вызванными гидростатическим давлением в системах отопления, пожаротушения и прочих. Это вызвано тем, что изнутри и снаружи на поверхность здания действует разное давление, и эта разница с ростом высоты сооружения возрастает достаточно высокими темпами, оказывая существенное влияние на температурный режим здания. К теплоснабжению многоэтажных строений предъявляются более высокие требования, чем к теплоснабжению зданий, имеющих небольшое число этажей, в особенности это

касается надежности и безопасности. Кроме того, высотные здания оказывают существенное влияние на аэродинамику города, из-за чего могут возникать мощные вихревые потоки, что делает необходимым предварительное аэродинамическое исследование местности [7].

Энергоэффективность высотного здания в значительной мере определяется застройкой, ландшафтом и климатом местности, в которой оно возведено, поэтому каждое энергоэффективное здание уникально. Задолго до начала строительства многоэтажного строения необходим план по снабжению его ресурсами: электричеством, водой и, конечно же, теплом. Существуют 2 основных способа решить вопрос теплоснабжения здания: подключение его к центральной сети теплоснабжения и применение автономных источников теплоснабжения — то есть, источников тепловой энергии, не подключенных к центральной городской системе теплоснабжения. Однако полностью автономными их назвать нельзя, потому что в большинстве случаев они все же связаны с централизованными системами подачи топлива (чаще всего его роль играет газ), а также электросетями и водопроводом [8]. В наше время этот вопрос становится все более актуальным и АИТ все чаще рассматривается как эффективная замена центрального теплоснабжения. По разным подсчетам, на возведение всех коммуникаций и, в частности, системы отопления идет от 10 до 15% общей стоимости здания, поэтому выбор источника тепловой энергии необходимо производить крайне ответственно.

В малоэтажном строительстве проще всего применять новые энергосберегающие способы теплоснабжения, поэтому в нашей стране с 2000 года начали набирать темпы процессы децентрализации системы теплоснабжения. В связи с этим при разработке регионального инвестиционного проекта

малоэтажной застройки были поставлены следующие задачи:

- осуществить максимальное использование передовых технологий теплоснабжения, обеспечивающих минимальные эксплуатационные затраты;
- обеспечить комфортные условия в зданиях за счет использования наиболее энергосберегающих и экономичных вентиляционных систем.

Энергоэффективность применения АИТ определяется в первую очередь мощностью и стоимостью оборудования, например, технология теплового насоса не нашла столь же широкого распространения, как технология газовых котлов за счет крайне высокой стоимости оборудования, а также недостаточно высокой мощности, по сравнению с последними. КПД и экологичность котлов ниже, чем аналогичные параметры у насосов, но первостепенными и решающими факторами являются мощность и стоимость оборудования.

Для начала рассмотрим положительные и отрицательные стороны более традиционного способа теплоснабжения — централизованного. Первым, и, возможно, важнейшим плюсом такого метода является отсутствие необходимости контролировать весь процесс генерации энергии со стороны потребителя, так как он просто закупает необходимое, согласно плану, количество гигакалорий. Поэтому ему не нужно закупать дорогостоящее оборудование, а все аварии устраняются производителем энергии за его счет. Однако из этого достоинства также вытекает и недостаток, который будет описан ниже. Вторым преимуществом централизованного теплоснабжения является более эффективная генерация тепла. В крупных котельных или ТЭЦ эффективность сжигания угля находится на достаточно высоком уровне, а из-за высокой концентрации производства снижается себестоимость энергии для

производителя, что может привести к снижению ее цены и для конечного потребителя. Главным же недостатком централизованного теплоснабжения являются потери тепла от трубопровода. Согласно официальной статистике, до 40% вырабатываемой тепловой энергии теряется при транспортировке, и эти убытки будет оплачивать конечный потребитель тепла. Кроме того, при централизованной подаче теплоэнергии потребитель не сможет самостоятельно регулировать температуру внутри здания, так как она находится полностью под контролем котельной. Тарифы также находятся под полным контролем стороны, производящей энергию, и потребитель повлиять на них не способен, а по статистическим данным их рост идет высокими темпами (рисунок 1), именно поэтому АИТ получает все более широкое распространение не только на территории России, но и во всем мире.

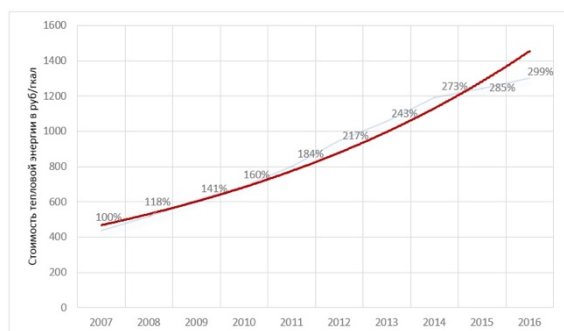


Рисунок 1 – График стоимости тепловой энергии в воде в руб./Гкал с 2007 по 2016гг.

К преимуществам автономного теплоснабжения в свою очередь можно отнести гибкость графика использования, что позволяет регулировать теплоснабжение отдельно взятого здания не только в разные сезоны, но и в разное время суток отопительного сезона, что позволяет существенно сократить расходы на теплоснабжение. К тому же, сами АИТ и их обслуживание, зачастую, куда дешевле, чем центральные системы. Кроме этого, важным плюсом является отсутствие

необходимости в прокладывании и содержании трубопровода, а его отсутствие существенно снижает теплопотери. Недостатком автономного теплоснабжения является потребность в более сложной системе контроля и обслуживания теплосети, так как при таком методе множество разных АИТ расположены на обширной территории. Кроме того, увеличение числа разнообразных АИТ повлечет за собой общее снижение надежности сети, но при этом повреждение одного из ее членов не повлияет на другие.

Резюмируя, можно сказать, что как централизованное, так и автономное теплоснабжение имеет свои преимущества и недостатки, однако с развитием технологий повышается надежность АИТ, уменьшается как его себестоимость, так и стоимость его обслуживания, вследствие чего оно становится выгоднее центрального теплоснабжения. Уже сегодня использование АИТ в высотных зданиях приблизительно на 25–30% выгоднее, чем подключение его к централизованной сети, что подтверждается ростом числа строений с автономной системой теплоснабжения как на территории нашей страны, так и за рубежом.

Ветряные турбины

Суммарная мощность ветрогенераторов в мире в 2019 году составила 600 гигаватт, а благодаря развитию ветроэнергетики в США, Европе, Индии и КНР, возрастает на 35–40 гигаватт в год.

Современная ветроэнергетика использует два вида конструкций ветровых энергетических установок: вертикально-осевые, где применяется подъемная сила крыла, и горизонтально-осевые, в которых ось вращения ветроколеса расположена параллельно вектору скорости ветра. На крыше высотных зданий допускается установка как одного, так и нескольких ветровых генераторов [6], их число определяется

высотой строения, полезной площадью крыши и размером турбин. Такой ветрогенератор способен полностью или частично обеспечить здание электроэнергией, отоплением и горячим водоснабжением. Такой тип АИТ хорошо подходит как для жилых, так и для офисных зданий или торговых центров. Если же использовать магнитную подвеску ротора турбины, то можно снизить шум и вибрацию, вызванную вращением. Ветрогенераторы производят от 11 до 15% от всей электроэнергии, необходимой башне, максимальная теоретическая мощность рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{8}{27} \rho v^3 A \quad (1)$$

где ρ — плотность воздуха, v — скорость воздушного потока, A — эффективная площадь диска.

Многоэтажный жилой дом Strata Tower, расположенный на юге Лондона, стал первым в мире небоскребом, в конструкции которого использовались 3 ветряные турбины диаметром 9 метров, которые в сумме обеспечивали 8% всех потребностей здания в энергии. Небоскреб был специально спроектирован так, чтобы ветер эффективно вращал турбины на протяжении всего года, а для большей экономии энергии используется естественная вентиляция и особые стекла с улучшенной теплоизоляцией.

Одним же из самых энергоэффективных небоскребов с ветряными турбинами является Bahrain World Trade Center, его 3 ветрогенератора с максимальным размахом лопастей в 29 метров, расположены на мостах, связывающих башни, и способны обеспечить 15% от потребностей здания в энергоснабжении. Они ориентированы к персидскому заливу, так как из-за муссонов ветер преимущественно дует именно оттуда, а форма башен, сконструированных в форме парусов, позволяет ускорять

воздушные потоки, тем самым увеличивая мощность.

Высотный жилой комплекс Bosco Verticale, известный как вертикальный лес, состоит из двух небоскребов, высотой 87 и 119 метров. Небоскребы оснащены системами фильтрации дождевой воды, индивидуальным отоплением, а также ветряными турбинами и солнечными панелями, расположенными на крыше. Они позволяют обеспечить до 10% потребностей здания в энергии. В 2014 году здания были признаны лучшими небоскребами, получив премию International Highrise Award от Франкфуртского музея архитектуры.

Ветряные турбины имеют хорошие показатели по себестоимости вырабатываемой энергии в соотношении с затратами на ее производство, также стоит обратить внимание на то, что обслуживание такого АИТ не требует больших финансовых вложений, а срок его службы составляет до 100 лет. Так, согласно проведенному в Дании исследованию, более 3000 турбин старше 10 лет, лишь половина понизила свой КПД из-за пыли, насекомых и дефектов лопастей, в среднем КПД падал на 1% в год, у другой половины эффективность осталась на прежнем уровне. В итоге получается, что ветрогенератор является дешевым в использовании, долговечным и достаточно надежным средством автономного обогрева здания, но и у него есть свои недостатки. В первую очередь, это зависимость от погодных условий, так, согласно исследованию [9], при нестабильной скорости ветра КПД турбины снижается на 15% по сравнению со стабильными погодными условиями. Также эксплуатация ветрогенератора в холодном климате приводит к обледенению лопастей и преждевременному износу деталей, из-за чего турбина должна быть изготовлена из морозостойких материалов, а жидкости,

участвующие в ее работе, не должны замерзать. Кроме того, достаточно часты случаи обледенения оборудования, измеряющего скорость ветра, из-за чего ротор не будет вращаться, что крайне негативно скажется на эффективности ветрогенератора. Еще одной опасностью, вызываемой установкой ветровых турбин на высотных зданиях, является вероятность удара молнии, который может вызвать поломку АИТ или пожар.

В России ветроэнергетика имеет богатую историю развития. И несмотря на то, что сейчас ветроэнергетика не играет существенной роли в энергообеспечении не только жилых домов, но и всей страны в целом, климатические условия в горах Кавказа, побережьях крупных рек, таких как Волга, а также в северных регионах позволяют развивать ветроэнергетику в России. В 2004 году была создана Российская Ассоциация Ветроиндустрии (РАВИ), объединившая 160 компаний. РАВИ подвела итоги 2019 года, отметив значительные достижения в ветроиндустрии. Компания «Ветропарки ФРВ» ведет строительство трех ветропарков в Ростовской области — завершен монтаж 26 ветроустановок на Сулинской ВЭС. Завершился первый этап физического ввода в строй 13 ветроустановок компании «Новавинд» в Адыгее. Компания «Энел Россия» приступила к строительству ветропарка в Азове, ведутся подготовительные работы на самом северном ветропарке в Мурманской области. [6]

У российской ветроэнергетики определенно есть потенциал, однако из-за постоянных ветров и невысокой мощности таких АИТ эффективно применять их для энергоснабжения малоэтажных зданий невозможно.

Солнечные батареи

Солнечная энергия является одним из перспективных направлений развития

энергетики, являясь неплохим вариантом АИТ для энергоснабжения частного дома [10]. Ежедневно на Землю поступает $4,2 \times 10^{14}$ кВт·ч, а всем населением Земли в 2007 году было израсходовано (за год) 94×10^{12} кВт·ч, что позволяет сделать вывод: солнечная энергия, при грамотном использовании способна многократно покрыть нужды человечества в энергии. Кроме того, являясь возобновимым и экологически чистым источником энергии, она может стать отличной заменой традиционным типам топлива. Для преобразования солнечной энергии в другой вид энергии имеется несколько технологических способов: на основе солнечных коллекторов, с использованием «солнечной архитектуры», фотоэлектрических преобразователей, солнечных водонагревателей, при помощи термодинамических установок, монокристаллических, поликристаллических, тонкопленочных солнечных батарей, наноантенн. Также ученые всего мира работают над разработкой накопителей солнечной энергии, так как это самая актуальная проблема гелиоэнергетики.

Солнечные батареи широко распространены в тропических и субтропических регионах [11], где их устанавливают на крыши домов, а климат позволяет им быть достаточно эффективными. Однако для того, чтобы обеспечивать высотное здание солнечной энергией, необходимо большое число солнечных панелей, разместить которые на крыше не представляется возможным. Поэтому в большинстве случаев они используются как вспомогательный АИТ, например, как дополнение к ветряным турбинам.

Активнее всего солнечные батареи применяются в странах Азии (Китай, Япония), большей части стран Европы, особенно активно в Италии, Испании и Германии, а также США и Австралии. По оценкам PV Market Alliance (PVMA),

мощность фотоэлектрических установок в 2018 году достигла 98 ГВт, а к 2024 году, благодаря росту количества солнечных батарей, суммарная мощность АИТ, потребляющих возобновляемые источники энергии, возрастет на 50%. Особенно выгодно применение солнечных батарей там, где прокладка кабелей затруднена, например, в гористой или островной местности. Но в некоторых странах Европы и США критикуется практика использования солнечных панелей, так как они изменяют городской ландшафт.

Рассмотрим преимущества и недостатки использования солнечных панелей для энергообеспечения зданий. К сожалению, плюсов у солнечных батарей не так много, и часто их перевешивают недостатки, что ведет к низкой распространенности такого типа АИТ для энергообеспечения высотных зданий. Так, к плюсам можно отнести дешевизну обслуживания, низкую даже по сравнению с ветряными турбинами, экологичность получаемой электроэнергии и возможность размещения панелей на крыше почти любого малоэтажного дома. Примером служит пригород Фраунгофера, район рекордсменов по выработке солнечной энергии на территории Германии, где почти 90% солнечных батарей расположены на крышах домов. Из минусов можно выделить малую мощность, которую вырабатывает относительно небольшое число батарей, размещенных на крыше небоскреба (в среднем менее 3% от потребностей строения в энергии). Также фотоэлементы практически бесполезны в сумерки или ночью, что существенно понижает их эффективность. Кроме того, несмотря на экологичность вырабатываемой энергии, сами солнечные панели содержат токсичные для человека элементы.

Основная проблема солнечных батарей заключается в малой мощности, что, в

свою очередь, вызвано тем, что большая часть солнечной энергии не преобразовывается в электричество, а тратится на нагревание фотоэлемента. Нагревание батареи на 1°C приводит к падению мощности фотоэлемента на 0,5%. Поэтому для эффективного использования солнечных батарей в качестве АИТ для теплоснабжения зданий необходима активная система охлаждения батарей, которая также будет потреблять электроэнергию, требовать обслуживания и контроля, снижать общую надежность системы. Применение пассивной системы охлаждения невозможно, так как она не справляется с охлаждением фотоэлементов. Эти недостатки делают применение солнечных батарей в качестве основного АИТ невыгодным, поэтому почти всегда они применяются как дополнение к другому источнику энергии.

Исключением является WestendGate, 159-метровый небоскреб во Франкфурте-на-Майне. Это многоэтажное здание построено в 1976 году с использованием технологии BIPV (здания с интегрированными фотоэлементами), поэтому фотоэлектрические модули расположены по всему фасаду строения. Батареи изумрудно-зеленого цвета вырабатывают больше 30% от необходимой зданию энергии, в моменты пиковых нагрузок система способна генерировать до 22 кВт. Кроме того, интегрированные солнечные батареи нормализуют углеродный баланс небоскреба. За достижения в области энергетики, здание получило сертификат GreenBuilding.

Научные достижения последних лет также оказывают влияние на эффективность солнечных батарей. Так, в 2014 году был разработан способ преобразовывать инфракрасное излучение солнца в электроэнергию [13], а в 2018 году, после открытия флексо-фотовольтаического эффекта, появилась возможность

существенно повысить срок жизни горячих носителей, увеличив теоретическую мощность батареи почти в 2 раза. В 2019 году группа ученых из Сколково разработала новый полупроводниковый материал, лишенный большей части недостатков, свойственных его предшественникам [13]. Возможно, эти и будущие открытия позволят увеличить эффективность солнечных батарей, а из-за постепенного истощения запасов ископаемого топлива и связанного с этим роста цен на электроэнергию, вырабатываемую ТЭЦ, фотоэлементы смогут эффективно использоваться в роли АИТ.

В России также есть возможности для применения солнечных батарей, особенно в регионах юга, так как большая часть страны (65%) расположена в зоне средней и высокой солнечной активности. Крупнейшая солнечная электростанция России по состоянию на 2019 год эксплуатируется в Крыму, это СЭС «Перово» мощностью 105,6 МВт. Высокую мощность имеют также Самарская СЭС (Самарская область) — 75 МВт, СЭС «Николаевка» — 69,7 МВт (Крым), Ахтубинская СЭС (Астраханская область) — 60 МВт, Фунтовская СЭС (Астраханская область) — 60 МВт. Но и в других регионах, например, Башкортастане, Алтае, Бурятии и Северном Кавказе условия позволяют развивать сферу гелиоэнергетики. В этих регионах достаточно солнечных дней в году, а уровень освещенности позволяет солнечным фотоэлементам быть эффективными АИТ, поэтому, возможно, в недалеком будущем в этих регионах появятся другие СЭС, однако официальной программы развития представленных регионов в этом ключе пока не представлено.

Резюмируя, можно сказать, что солнечные батареи могут быть неплохим вариантом обеспечения малоэтажного дома энергией, но из-за малой мощности не могут полностью обеспечить его

теплоснабжение. Впрочем, с развитием технологий, недостатки могут стать менее критичными, а благодаря своим достоинствам этот тип АИТ может стать достойной альтернативой традиционным источникам энергии.

Геотермальные АИТ

Петротермальная энергетика является ответвлением геотермальной отрасли, она направлена на получение теплоты непосредственно от земных пород, температура которых тем выше, чем глубже они расположены. В среднем, температура породы возрастает на $0,02^{\circ}\text{C}/\text{м}$, а 100°C они достигнут на глубине порядка 5 км.

В настоящее время гидротермальная технология наиболее распространена, поскольку она значительно проще в реализации. Однако создание гидротермальной системы возможно только там, где имеются подходящие геотермальные воды, например — в зонах вулканизма. Поэтому из всех пригодных для использования геотермальных ресурсов Земли гидротермальные составляют лишь около 1 %, тогда как остальные 99 % приходятся на петротермальные. Это позволяет создавать петротермальные системы практически в любом месте Земли.

Более подробно рассмотрим принцип работы последних.

Для извлечения петротермальной энергии используются геотермальные циркуляционные системы (ГЦС) (рисунок 2).

Данная система включает в себя подземный коллектор, нагнетательную скважину, добычную скважину и поверхностный комплекс, содержащий оборудование, обеспечивающие эксплуатацию системы.

Коллектор представляет собой проницаемую зону в горной породе, через которую протекает теплоноситель. Он должен иметь развитую теплообменную поверхность, чтобы обеспечить эффективный отбор теплоносителем тепла у породы. Он

также должен иметь достаточную проницаемость для циркуляции теплоносителя.

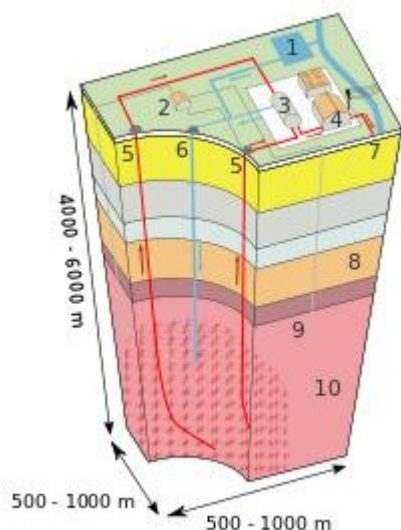


Рисунок 2 — Схема устройства ГЦС

Коллектор может быть как естественного, так и искусственного происхождения. К естественным относятся пористые пласты и зоны естественной трещиноватости.

Искусственный коллектор создаётся в непроницаемых породах при помощи гидравлического разрыва массива. В нагнетательную скважину под высоким давлением подаётся рабочая жидкость. В результате в массиве возникают и расширяются трещины, по которым может циркулировать теплоноситель.

В качестве теплоносителя, как правило, используется вода.

Теплоноситель подаётся в коллектор через нагнетательную скважину. Протекая через коллектор, теплоноситель осуществляет отбор тепла и извлекается через скважину. Полученное тепло может быть использовано для отопления или генерации электроэнергии. После этого отработанный теплоноситель снова подаётся в нагнетательную скважину.

Если коллектор изолирован, то потери теплоносителя будут незначительными и будут снижаться в ходе эксплуатации.

Для оценки эффективности такого типа АИТ рассмотрим его преимущества и недостатки. К достоинствам можно отнести практически неисчерпаемый запас энергии, возможность размещения в практически любой точке земного шара, а также относительно дешевое строительство и простая эксплуатация. Минусов же у такого типа АИТ немного, но они делают петротермальные электростанции неприменимыми в роли АИТ для обогрева малоэтажных зданий. К ним можно отнести крайне дорогую шахту, необходимую для эффективного теплоснабжения, так как на глубине до 3 км температура пород слишком мала, чтобы такая установка была эффективной. Также невозможность обеспечить складирование тепловой энергии делает этот тип АИТ экономически невыгодным.

Таблица 1 — Сравнение АИТ и централизованного теплоснабжения (данные взяты из [14])

Источник теплоснабжения	Среднегодовая мощность	Процент использования
Солнечные батареи	1395 МВт	20%
Ветряные мельницы	670 МВт	
Геотермальные системы	64 МВт	
Централизованное теплоснабжение	2020 млн. Гкал	80%

Заключение

Сегодня в России актуальна проблема низкой газификации загородной местности: в поселках она составляет менее 70%, в сельской же местности не достигает 60%. Поэтому применение АИТ является выгодной и эффективной альтернативой подключению к централизованной сети. К сожалению, не все АИТ могут полностью

обеспечить теплом даже малоэтажный жилой дом, не говоря о высотном здании, но они могут как минимум существенно сократить затраты на отопление, что с учетом постоянно возрастающих тарифов ЖКХ уже будет неплохим результатом. Впрочем, технологии АИТ в последние годы развиваются достаточно высокими темпами: так, эффективность солнечных батарей за последние 5 лет выросла более чем в 2 раза [14]. В итоге приходим к выводу, что уже сейчас технологии АИТ развиты настолько, что существуют достаточно эффективные и относительно недорогие способы полностью автономного теплоснабжения зданий, а с развитием гелио- и ветроэнергетики эти способы смогут стать экологически чистыми и куда более экономичными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Мазурова М. В. Анализ и опыт применения геотермальных насосов в России. СПбГАСУ
- [2]. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354840/feb387ba6cb412e94e5c4fd72de0228c1a68af25/
- [3]. Гусакова Н. В., Филюшина К. Э., Ярлакабов А. А. Исследование энергоэффективности источников теплоснабжения в малоэтажном строительстве. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. Т. 20. № 6. С. 160–16
- [4]. Гзенгер Ш., Денисов Р. Проект «Перспективы ветроэнергетического рынка в России. Март 2017». URL: <https://wwindea.org/wp-content/uploads/2017/06/170612-FES-Windenergie-rus-print.pdf>
- [5]. Российская ассоциация ветроиндустрии. URL: <https://rawi.ru/>
- [6]. Бродач М.М. Инженерное оборудование высотных зданий. М., АЮК-ПРЕС, 2007. 320 с.
- [7]. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М., 1984. 360с
- [8]. СТО НОСТРОЙ 2.15.70-2012 Инженерные сети высотных зданий. Устройство систем теплоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения.
- [9]. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий СГАСУ, Самара, 2009, 296 с.
- [10]. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 13.11. 2009 г. № 1715-р Собрание законодательства Российской Федерации. 2009. №48. Ст. 5836.
- [11]. Perlin J. The Silicon Solar Cells Turns 50. 2004. 4 p. URL: www.nrel.gov/docs/fy04osti/33947.pdf
- [12]. Garín, M., Fenollosa, R., Alcubilla, R. et al. All-silicon spherical-Mie-resonator photodiode with spectral response in the infrared region. *Nat Commun*, 2014, 5, 3440. DOI: 10.1038/ncomms4440
- [13]. Pavel A. Troshin, Vladimir P. Fedin, Maxim N. Sokolov, Keith J. Stevenson, Nadezhda N. Dremova. Polymeric iodobismuthates {[Bi₃I₁₀} and {[BiI₄]} with N-heterocyclic cations: promising perovskite-like photoactive materials for electronic devices] *Journal of Materials Chemistry A*. 2019, vol. 7, iss. 11, pp. 5957–5966. DOI: 10.1039/C8TA09204D
- Бутузов В. А., Безруких П. П., Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика в России. С первых шагов до наших дней. *Энергосбережение*. 2021. № 4. С. 62 – 72

Махов Олег Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика», Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина (Российская Федерация, 153003, Иваново, Рабфаковская ул., 34)

Рыбкина Полина Сергеевна — студент, кафедра «Промышленная теплоэнергетика», Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина (Российская Федерация, 153003, Иваново, Рабфаковская ул., 34).

Буданов Илья Андреевич — студент, кафедра «Промышленная теплоэнергетика», Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина (Российская Федерация, 153003, Иваново, Рабфаковская ул., 34).

Use of autonomous heat supply sources

O. N. Makhov^{*,1}, P. S. Rybkina^{*}, I. A. Budanov^{*}

^{} Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russia*

Abstract

The article discusses the issues of energy efficiency of various types of autonomous heat supply sources (AES) and comparison with centralized heating systems. A brief description of various types of AES is given and a review of their energy indicators is carried out on the example of high-rise and low-rise buildings using alternative energy sources (solar, wind and geothermal). Examples of the use of AES in countries with different climatic conditions are considered. Promising tasks for the integration of autonomous heat supply sources have been identified. In a favorable climate, solar panels, windmills and geothermal systems are able to fully supply low-rise buildings with heat. High-rise buildings, when using autonomous heat supply sources, significantly reduce utility costs, autonomous heat supply sources are able to provide up to 30% of the total energy needs of the building.

Keywords

Energy saving, alternative sources, solar panels, windmills, geothermal systems.

REFERENCES

[1]. Mazurova M.V. Analiz i opyt primeneniya geotermal'nyh nasosov v Rossii [Analysis and experience of using geothermal pumps in Russia] SPbGASU (In Russ.)

[2]. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 09.06.2020 N 1523-r «Ob utverzhdenii Energeticheskoy strategii Rossijskoj Federacii na

period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation of 09.06.2020 N 1523-r «On approval of the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035»] (In Russ.) – URL:<http://www.consultant.ru/document/c>

¹ Corresponding author

Email: makhoviv@yandex.ru

ons_doc_LAW_354840/feb387ba6cb412e94e5c4fd72de0228c1a68af25/

[3]. Gusakova N. V., Filjushina K. Je., Jarlakabov A. A. Issledovanie jenergojeffektivnosti istochnikov teplosnabzhenija v malojetazhnom stroitel'stve [Study of energy efficiency of heat supply sources in low-rise construction] *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering] 2018. T. 20. № 6. p. 160–16 (In Russ.)

[4]. Gzenger Sh., Denisov R. Proekt «Perspektivy vetrojenergeticheskogo rynka v Rossii. Mart 2017» [Project «Prospects for the wind energy market in Russia. March 2017»] (In Russ.) – URL: <https://wwindea.org/wp-content/uploads/2017/06/170612-FES-Windenergie-rus-print.pdf>

[5]. Rossijskaja asociacija vetroindustrii [Russian Wind Industry Association] (In Russ.) - URL: <https://rawi.ru/>

[6]. Brodach M. M. Inzhenernoe oborudovanie vysotnyh zdanij [Brodach M.M. Engineering equipment of high-rise buildings], Moscow, AJuK-PRES Publ., 2007, 320 p. (In Russ.)

[7]. Simiu Je., Skanlan R. Vozdejstvie vetra na zdanija i sooruzhenija [The impact of wind on buildings and structures] Moscow, 1984, 360 p.

[8]. STO NOSTROJ 2.15.70-2012 Inzhenernye seti vysotnyh zdanij. Ustrojstvo sistem teplosnabzhenija, otoplenija, ventiljacii, kondicionirovanija i holodosnabzhenija [Engineering networks of high-rise buildings. Installation of heat supply, heating, ventilation,

air conditioning and refrigeration systems] (In Russ.)

[9]. Generalov V. P. Osobennosti proektirovanija vysotnyh zdanij [Features of the design of high-rise buildings], Samara, SGASU Publ., 2009, 296 p. (In Russ.)

[10]. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF [Energy strategy of Russia for the period up to 2030. Order of the Government of the Russian Federation] 13.11.2009 № 1715-p Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii [Collection of legislation of the Russian Federation], 2009, №48, art. 5836. (In Russ.)

[11]. Perlin J. The Silicon Solar Cells Turns 50. 2004. 4 p. URL: www.nrel.gov/docs/fy04osti/33947.pdf

[12]. Garín, M., Fenollosa, R., Alcubilla, R. et al. All-silicon spherical-Mie-resonator photodiode with spectral response in the infrared region. *Nat Commun*, 2014, 5, 3440. DOI: 10.1038/ncomms4440

[13]. Pavel A. Troshin, Vladimir P. Fedin, Maxim N. Sokolov, Keith J. Stevenson, Nadezhda N. Dremova. Polymeric iodobismuthates {[Bi₃I₁₀] and {[BiI₄]} with N-heterocyclic cations: promising perovskite-like photoactive materials for electronic devices] (англ.) *Journal of Materials Chemistry A*. 2019, vol. 7, iss. 11, pp. 5957–5966. DOI: 10.1039/C8TA09204D

[14]. Butuzov V.A., Bezrukih P.P., Elistratov Vozobnovljaemaja jenergetika v Rossii. S pervyh shagov do nashih dnei [Renewable energy in Russia. From the first steps to the present day]. *Energoberezenie* [Energy saving], 2021, no. 4, pp. 62–72 (In Russ.)

Makhov O. N. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Industrial Thermal Power Engineering, Ivanovo State Power Engineering University (Rabfakovskaya st., 34, Ivanovo, 153003, Russian Federation)

Rybkina P. S. —student, Department of Industrial Thermal Power Engineering, Ivanovo State Power Engineering University (Rabfakovskaya st., 34, Ivanovo, 153003, Russian Federation)

Budanov I. A. —student, Department of Industrial Thermal Power Engineering, Ivanovo State Power Engineering University (Rabfakovskaya st., 34, Ivanovo, 153003, Russian Federation)

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Использование автономных источников теплоснабжения / О. Н. Махов, П. С. Рыбкина, И. А. Буданов // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 1. С. 87 – 99.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-1-87-99

Please cite this article as:

Makhov O. N., Rybkina P. S., Budanov I. A. Use of autonomous heat supply sources. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2, no. 1, pp. 87 – 99

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-1-87-99