

Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов

Магистр П.Н. Недвига*,

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В России многофакторный и разнообразный климат, поэтому особое внимание должно уделяться гибким инженерным системам, расходуемым ресурсам рационально. Важнейшей характеристикой для комфортной жизни является температура среды обитания, поэтому отопление для России является определяющим фактором жилища. А опыт создания и поддержания температуры дома в условиях России очень ценен.

В настоящее время существует ряд принципиальных решений в системе отопления индивидуальных домов, которые зависят от вида потребляемого топлива. Столетиями система приспособлялась к твердому топливу (углю, дровам и т.п.). Топливо сжигалось в печи, камине, костре, жаровне. Затем топливо стало сжигаться в котельной, а отопление превратилось в централизованное. Происходило и дальнейшее развитие в видах топлива – появилось жидкое и газообразное, и как промежуточный этап для доставки тепла потребителю – электричество, вода, пар. Последним этапом стало использование в отоплении солнечной, ветровой и геотермальной энергии.

Достоинствами традиционных систем отопления является проработанность решений, доступность и до некоторых пор экономическая эффективность. В настоящее время последний параметр подвергается подробному пересмотру. Возможности использования альтернативных источников энергии расширяются.

В данной статье будут рассмотрены основные принципы использования низкопотенциальной энергии грунта и формирования запасов энергии для отопления в автономном режиме. При этом не исключается совмещение двух этих функций в грунте.

Одним из популярных сейчас способов использования энергии грунта являются тепловые насосы. В основе концепции лежит сбор тепла с большой площади грунтового массива и его использование, как в целях отопления, вентиляции, так и для нагрева воды для хозяйственных нужд. У данных систем имеется показатель эффективности, называемый коэффициентом трансформации. Он определяется по формуле [2]:

$$K_{\text{ТН}} = T_{\text{O}} / (T_{\text{O}} - T_{\text{И}}), \quad (1)$$

где T_{O} – температурный потенциал тепла, отводимого в систему отопления или теплоснабжения, К;

$T_{\text{И}}$ – температурный потенциал источника тепла, К.

По сути, являясь эффективным решением для отопления, тепловые насосы требуют больших капитальных вложений и работают от электричества.

Важным недостатком данной системы является зависимость от внешних источников энергии. Кроме того, следует отметить, что многие загородные дома эксплуатируются с некоторой периодичностью. Следовательно, в промежутках времени без присутствия жильцов нет высоких требований к внутренним параметрам температуры. Важно просто не допустить промерзания жилища. Каким образом – будет описано ниже.

Природа, создавая проблему в виде продолжительного отопительного периода, подсказывает и ответ на такие вызовы – различного рода аккумулирующие механизмы и устройства, которые обеспечивают автономность организма на определенный период, его независимость от одного или нескольких параметров внешней среды.

Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок

Одной из ценных наработок является концепция использования теплового аккумулятора в системе отопления. Аккумуляторы являются теми элементами системы отопления, которые позволяют произвести запасание тепловой энергии сожженного топлива для дальнейшего постепенного ее использования в обогреве помещений дома. Наиболее простым решением является тепловой аккумулятор на хвосте печного котла (рис. 1) В отличие от русской печи, отдачей тепла аккумулятора можно управлять по определенным заранее программам без непосредственного участия человека. Таким образом, хозяин дома может обеспечить автономность своего жилья от наружных инженерных сетей на некоторый период. Это вытекает из емкости аккумулятора и его мощности.

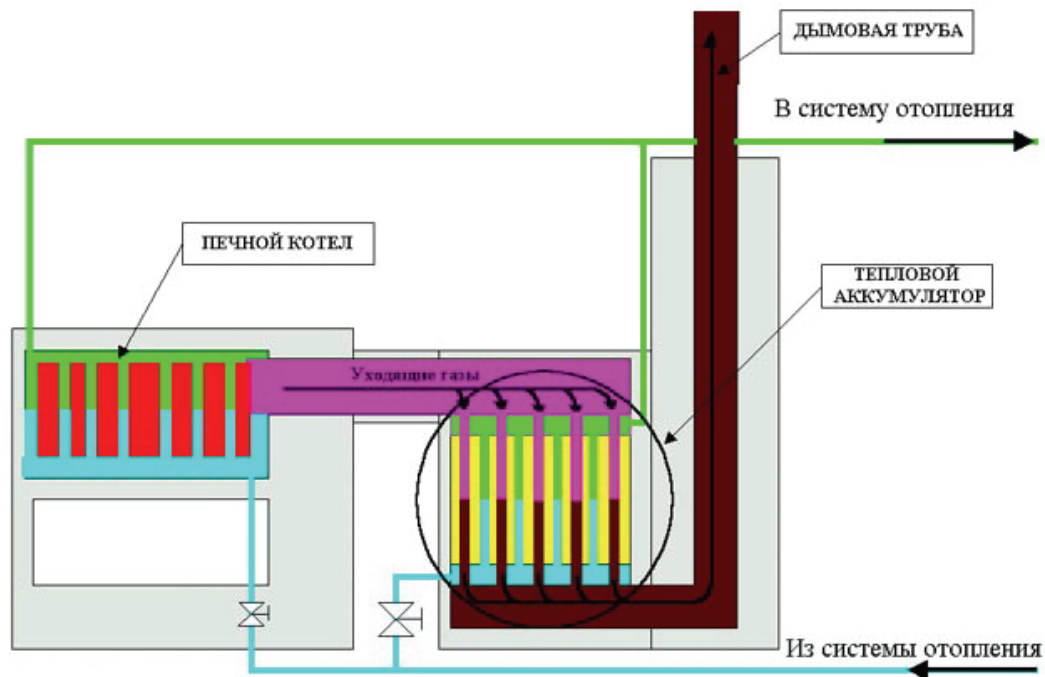


Рисунок 1. Тепловой аккумулятор на хвосте печного котла

Наиболее перспективными тепловыми аккумуляторами являются устройства на основе зернистого теплоносителя. Масса или объем теплоаккумулирующего материала (ТАМ) зависит от соответствующей плотности запасаемой энергии и КПД процесса аккумулирования тепла. В реальном процессе аккумулирования теплоты плотность запасаемой энергии на порядок ниже теоретического значения вследствие тепловых потерь, выравнивания поля температур, потерь при заряде и разряде аккумулятора.

Множество методов и способов аккумулирования приводит к различным техническим и конструктивным решениям:

- тепловые аккумуляторы с твердым ТАМ;
- тепловые аккумуляторы с плавящимся ТАМ;
- жидкостные аккумуляторы тепла;
- паровые аккумуляторы тепла;
- термохимические аккумуляторы;
- тепловые аккумуляторы с электронагревательным элементом.

Отдельно хочется отметить аккумуляторы тепла, использующие в качестве теплоносителя водоносные горизонты. В режиме заряда через скважину закачивается горячая вода, а в режиме разряда через другую скважину закачивается холодная вода. Вследствие отсутствия поверхностей теплообмена КПД такого аккумулятора будет наибольшим. Тепловая емкость такого решения позволяет обеспечить поселок на целый год.

Низкопотенциальная энергия грунта

Вторым мероприятием для существования дома в автономном режиме является использование тепла, прямо поступающего от грунта. Грунт поверхностных слоев земли также является тепловым аккумулятором, запасая тепло как приходящее с поверхности в виде солнечной радиации, так и приходящее из недр, называемое радиогенным [2]. На поверхности земли колебания температуры имеют сезонный и суточный характер. Глубина проникновения суточных колебаний зависит от интенсивности солнечной

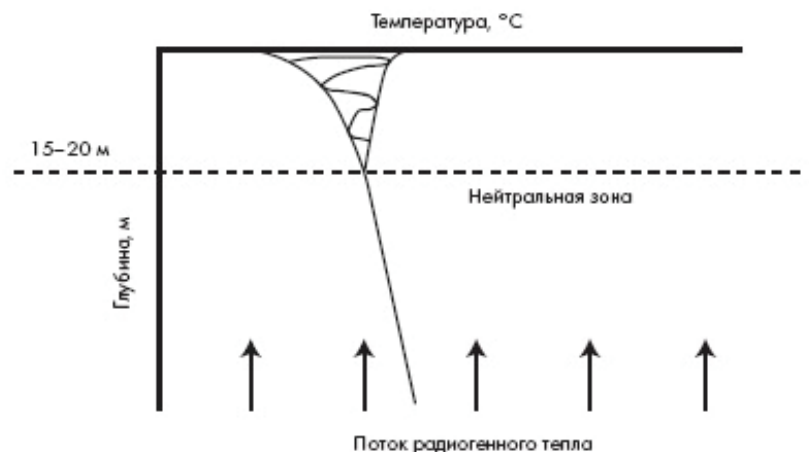


Рисунок 2. График изменения температуры грунта в зависимости от глубины

Недвиг П.Н. Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов

радиации и, как правило, не превышает 15-20 м. Сезонные, а тем более суточные колебания температур не распространяются ниже этой отметки.

Тепловой режим слоев грунта ниже нейтральной линии (Рисунок 2) формируется только радиогенным теплом с геотермическим градиентом (примерно 3°C на 100 м). Величина потока радиогенного тепла является спорной величиной, поскольку ее измеряют косвенным путем и для каждой местности она индивидуальна.

Особенностью теплового режима грунта как объекта проектирования является чрезвычайная сложность моделирования процессов, происходящих внутри, и воздействий снаружи. Температурный режим может быть определен путем многократных круглогодичных измерений. Но он, скорее всего, не учтет конкретных погодных условий, движения грунтовых вод, степень влияния окружающих и подстилающих массивов грунта. Из внешних воздействий, которые вызовут сложность при аппроксимации, можно назвать атмосферные воздействия, такие как дождь, снег, роса, туман и т.д.

Второй момент – это расчет параметров грунтового основания после строительства дома. Обладая собственными теплофизическими параметрами, грунт в естественных условиях промерзает на определенную глубину. Устанавливая сверху постройку, мы увеличиваем суммарное термическое сопротивление участка поверхности. Логически можно предположить, что изотермы в грунте поднимутся в здание. Это вызвано тем, что теплотери через грунт были выше, чем через построенный дом. Необходимо учесть эти факторы при построении модели.

Для решения поставленной задачи необходимо применить метод математического моделирования грунта с учетом фазовых переходов жидкости в порах.

Суть состоит в рассмотрении разности двух задач: «базовой» и «решаемой» [2]. Под «базовой» подразумевается задача, описывающая режим грунта до установки здания на него, т.е. в естественном состоянии. «Решаемая» задача описывает тепловой режим грунтового массива с уже стоящим зданием. Она описывается уравнением (2).

$$C\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + \sum_{i=1}^n q_i \xi_i, \quad (2)$$

где t - искомая температура грунтового массива, °C;

$C\rho$ - объемная теплоемкость грунта, Дж/(°C*м³);

λ - теплопроводность грунта Вт/(°C*м);

τ - время, с;

q_i - мощность единицы площадки удаления тепла;

ξ_i - функция, определяющая положение площадки удаления тепла в грунтовом массиве;

n - количество площадок удаления тепла.

Как результат появляется новая функция, описывающая влияние жилого дома на состояние подстилающего грунта.

Использование этого метода при построении математических моделей теплового режима грунта позволит не только обойти трудности, связанные с аппроксимацией внешних воздействий на массив грунта, но и использовать в моделях экспериментально полученную метеостанциями информацию о естественном тепловом режиме грунта. Это позволяет частично учесть весь комплекс факторов (таких как наличие грунтовых вод, их скоростной и тепловой режимы, структура и расположение слоев грунта, «тепловой» фон Земли, атмосферные осадки, фазовые превращения влаги в поровом пространстве и многое другое), существеннейшим образом влияющих на формирование теплового режима системы теплосбора, совместный учет которых в строгой постановке задачи практически невозможен.

Методика учета фазового перехода влаги в грунте производится путем замены фактической теплопроводности эквивалентной [3]. Остается задать вопрос: при каких условиях можно использовать энергию грунтового основания для отопления индивидуального дома в зимний период? Обратимся к таблице 1 [4].

Как видно, многие города имеют среднюю температуру грунтового массива на глубине 1,6 м выше нуля. В случае утепленного дома она будет еще выше. Таким образом, вариантом использования тепла земли является прямое его потребление через подвал или фундамент. Температура на уровне пола подвала в большинстве случаев не будет превышать требуемые для консервации дома 7-8°C. Но дополнительные мероприятия по утеплению фундамента вглубь и отмостки позволят дополнительную энергию на поддержание заданного уровня температуры внутри дома. Данный вариант требует дополнительных капитальных вложений только по утеплению отмостки и фундамента.

Недвиг П.Н. Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов

Таблица 1. Средние температуры грунта по месяцам на глубине 1,6 м для некоторых городов России

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	4	3,5	3,1	2,7	2,5	3	4,5	6	7,1	7	6,1	4,9
Астрахань	7,5	6,1	5,9	7,3	11	14,6	17,4	19,1	19,1	16,7	13,6	10,2
Барнаул	2,6	1,7	1,2	1,4	4,3	8,2	11	12,4	11,6	9,2	6,2	3,9
Братск	0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,2	0	3	6,8	7,2	5,4	2,9	1,4
Владивосток	3,7	2	1,2	1	1,5	5,3	9,1	12,4	13,8	12,7	9,7	6,4
Иркутск	-0,8	-2,8	-2,7	-1,1	-0,5	-0,2	1,7	5	6,7	5,6	3,2	1,2
Комсомольск-на-Амуре	0,8	-0,4	-0,9	-0,4	0	1,9	6,7	10,5	11,3	9	5,5	2,7
Магадан	-6,5	-8	-8,8	-8,7	-3,9	-2,6	-0,8	0,1	0,4	0,1	-0,2	-2
Москва	3,8	3,2	2,7	3	6,2	9,6	12,1	13,4	12,5	10,1	7,3	5
Мурманск	0,7	0,3	0	-0,3	-0,3	0,2	4	6,7	6,6	4,2	2,7	1
Новосибирск	2,1	1,2	0,6	0,5	1,3	5	9,1	11,3	10,9	8,8	5,8	3,6
Оренбург	4,1	2,6	1,9	2,2	4,9	8	10,7	12,4	12,6	11,2	8,6	6
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9	6	4
Петропавловск-Камчатский	2,6	1,9	1,5	1,1	1,2	3,4	6,7	9,1	9,6	8,3	5,6	3,8
Ростов-на-Дону	8	6,6	5,9	6,8	9,9	12,9	15,5	17,3	17,5	15,8	13	10
Салехард	1,6	1	0,7	0,5	0,4	0,9	3,9	6,8	7,1	5,6	3,5	2,3
Сочи	11,2	9,8	9,6	11	13,4	16,2	18,9	20,8	21	19,2	16,8	13,5
Туруханск	0,9	0,5	0,2	0	0	0,1	1,6	6,2	6,4	4,5	2,8	1,8
Тура	-0,9	-0,3	-5,2	-5,3	-3,2	-1,6	-0,7	1,2	2	0,7	0	-0,2
Уэлен	-6,9	-8	-8,6	-8,7	-6,3	-1,2	-0,4	0,1	0,2	0	-0,8	-3,7
Хабаровск	0,3	-1,8	-2,3	-1,1	-0,4	2,5	9,5	13,3	13,5	10,9	6,7	3
Якутск	-5,6	-7,4	-7,9	-7	-4,1	-1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	-0,1	-2,4
Ярославль	2,8	2,2	1,9	1,7	3,9	7,8	10,7	12,4	11,5	9,5	6,3	3,9

Выводы

Совокупное решение для автономного отопления позволит получить наибольший эффект. Тепловой аккумулятор будет подключаться лишь при нехватке энергии от земной поверхности.

Немаловажен ряд архитектурно-планировочных решений, обеспечивающих эффективную работу системы. Это отношение площади соприкосновения с грунтом к общей поверхности ограждающих конструкций. Оно должно быть минимальным. И самое простое решение для повышения эффективности отопления – это дополнительное утепление. В любом случае необходимо комплексное решение по теплоснабжению, рассматривающее конструкцию здания, систему энергоснабжения, климат, и окружающую среду как единое целое.

Данные выводы являются предварительными. Конечной целью является создание рекомендаций по расчету и проектированию домов с высокой степенью автономности.

Литература

1. Сотникова О. А., Турбин В. С., Григорьев В. А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения // АВОК, №5/2003. С. 40-45.
2. Васильев Г. П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России // АВОК, №5/2007. С. 58-66.
3. Васильев Г. П. Методика определения эквивалентной теплопроводности грунтового массива, учитывающей изменение агрегатного состояния влаги в поровом пространстве грунта // <http://www.insolar.ru/doc/metodik.pdf>.
4. Справочник по климату СССР (вып. 1-34). Л.: Гидрометеиздат, 1964-1971.

* Павел Никитич Недвига, Санкт-Петербурге

Тел. раб.: (812) 367-26-36; эл. почта: Varyagus@yandex.ru

Недвига П.Н. Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов