

10, октябрь 2017

УДК 608.3

Системы теплоснабжения солнечного дома

*Бяшимов М.М., магистр
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»
bekindtotheworld@gmail.com*

*Научный руководитель: Протасов Ю.Ю., д.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
stcpe@bmstu.ru*

Введение

На сегодняшний день различают два типа солнечных домов. Дома с активной системой солнечного теплоснабжения – в которых используются специальные устройства, собирающие солнечное излучение и преобразующие его в тепло [1,6,7], и дома с пассивной системой теплоснабжения, т.е. в которых не предусмотрено применение узлов, затрачивающие энергию на преобразование [1,2].

В данной публикации описаны системы, применяемые на сегодняшний день, а также их анализ и концепция.

1. Концепция теплоснабжения солнечного дома. Актуальность

Использование солнечной энергии затруднительно из-за ряда недостатков.

Во-первых, непостоянство. За счет того, что солнечный свет отсутствует в ночное время, а интенсивность излучения падает в пасмурные и дождливые дни, солнечная энергия не может служить основным источником электроэнергии.

Во-вторых, малая плотность излучаемой мощности. Данный показатель для солнечного излучения в среднем составляет 1000 Вт/м² [10] - это больше, чем у прочих возобновляемых природных ресурсов, но ниже, чем у источников энергии. По этой причине, для выработки достаточной электроэнергии из солнечного тепла требуется значительная площадь солнечных панелей [8].

Но также имеются и достоинства. Например, возобновляемость. Солнечную энергию можно считать за неисчерпаемый ресурс в отличии от традиционных топлив.

Помимо этого – бесшумность. Обычно в системах на солнечном ресурсе нет никаких движущихся узлов, поэтому выработка электроэнергии происходит бесшумно.

2. Пассивные системы теплоснабжения

Наиболее популярные методы обогрева солнечной энергией, применяемые в пассивных солнечных домах являются:

- система прямого обогрева солнечным теплом остекленных соляриев (солнечная оранжерея / теплица);
- система косвенного обогрева с использованием массивной стены Тромба [2,10,11].

Значительная часть солнечного тепла должна быть поглощена какими-либо теплоаккумулирующими материалами (например, каменная кладка); после заката солнца, аккумулированная теплота будет способствовать поддержанию тепла в доме [2,10]. Окна системы прямого солнечного обогрева должны быть ориентированы на географический юг [2].

Типичный солярий представлен на рисунке 1. Имеет застекленные южную, западную, восточную стены, а также — застекленную крышу, которую обычно делают наклонной [2,9].

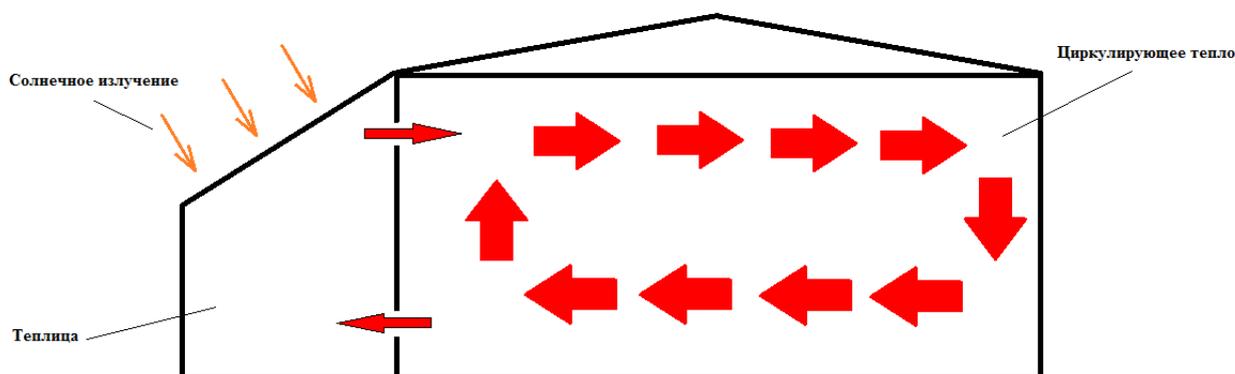


Рис. 1. Схема системы прямого обогрева солнечным теплом остекленных соляриев

Солнечная стена Тромба (рис.2) представляет собой массивную бетонную конструкцию со стороны южного фасада здания, закрытую снаружи светопоглощающим покрытием - стеклом, выкрашенную в черный цвет или покрытую селективно-поглощающей фольгой. Собранное в течение дня солнечное тепло передается в ночные часы в помещение. Воздух прогоняют через специальные отверстия в нижней и верхней частях стены, используя для этого как естественную конвекцию, так и принудительную циркуляцию воздуха с помощью вентиляторов [3,9,11].

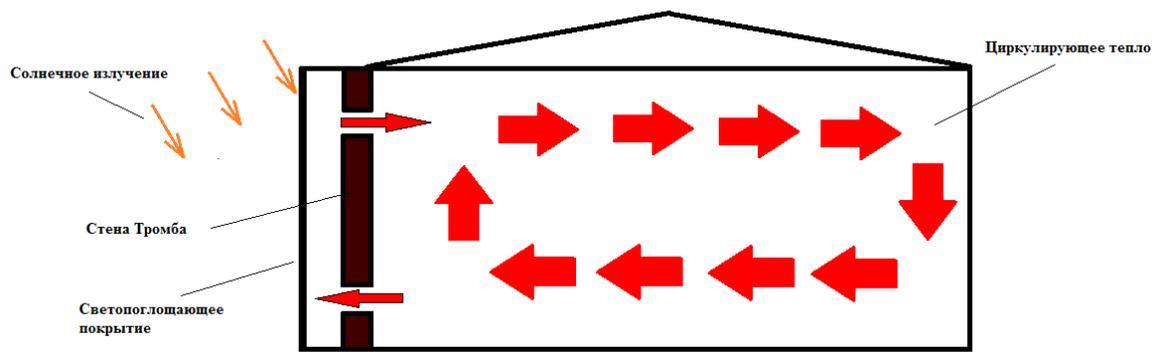


Рис. 2. Схема системы косвенного обогрева с использованием массивной стены Тромба

Внутренний воздух прогревается равномерно и его нагрев начинается уже в ранние утренние часы [3,11].

3. Активные системы теплоснабжения. Обзор технологий.

Солнечные коллекторы

3.1. Плоский солнечный коллектор

Плоский солнечный коллектор – устройство с поглощающей панелью плоской конфигурации и плоской прозрачной изоляцией для поглощения энергии солнечного излучения и преобразования ее в тепловую [4,16,17]. Коллекторы состоят из стеклянного или пластикового покрытия – прозрачной изоляции (одинарного, двойного, тройного), тепловоспринимающей панели, окрашенной со стороны, обращенной к солнцу, в черный цвет, изоляции на обратной стороне. Изготавливаются тепловоспринимающие панели из алюминия или стали двух типов: лист-труба и штампованные панели (труба в листе) [4,6].

3.2. Расположение плоского солнечного коллектора

Максимальная освещённость коллектора достигается при перпендикулярном падении солнечных лучей по отношению к принимающей плоскости [7]. Если это не обеспечивается, надо рассчитывать на 5-10% потерь по отношению к идеальному расположению [5]. Рассмотрим пример ориентации солнечного коллектора, если бы он располагался на территории Крымского полуострова. Значения приведены, как средние за год [15].

На рис 3. видно, что в диапазоне угла наклона 38° - 46° и ориентировании плюс – минус 4° можно добиться 100% освещенности коллектора.

95% освещенности достигаются, если угол наклона находится в пределах 21° и 38° и 46° и 52° , а отклонения ориентации в пределах плюс – минус 21° .

Если же угол наклона находится в пределах 11° и 21° и 52° и 59° , а ориентация – плюс минус 42° , то в этом случае достигается 90% освещенности коллектора.

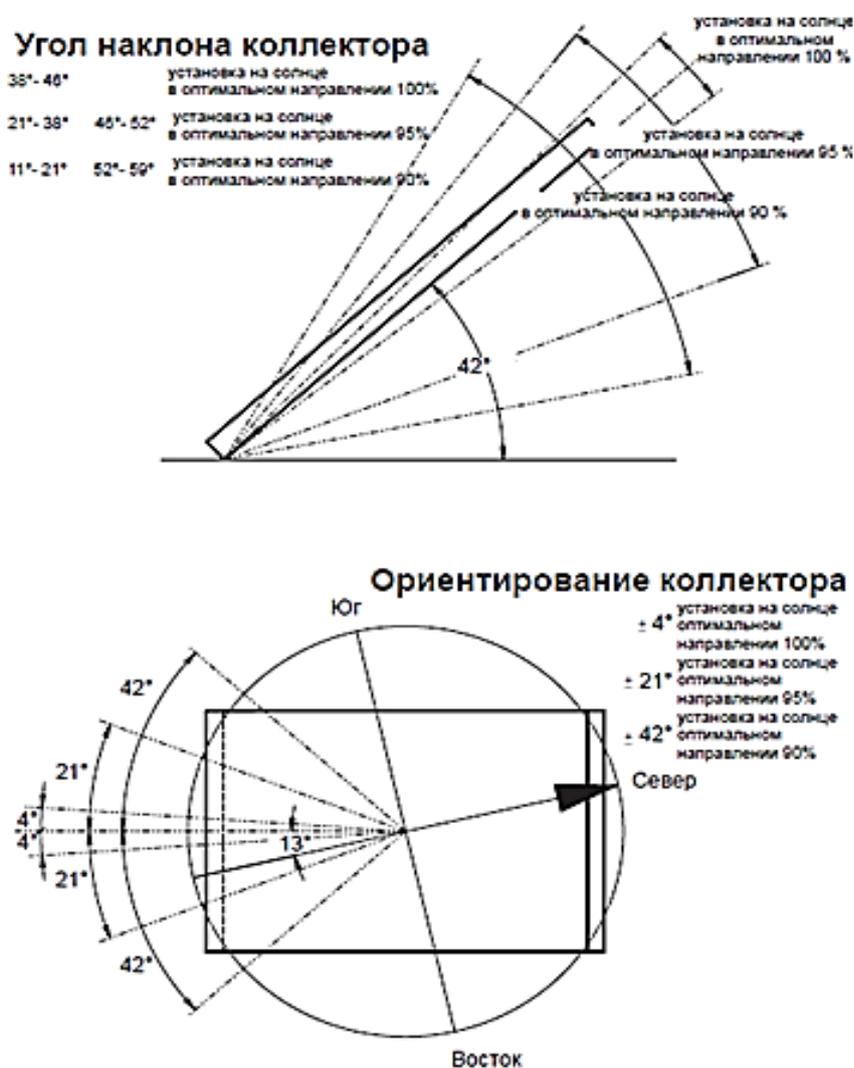


Рис. 3. Угол наклона и ориентация коллектора

3.3. КПД плоского солнечного коллектора

На КПД солнечного коллектора влияют три четко разграничиваемых фактора.

Оптические потери от стекла, покрывающего коллектор, которые можно принимать за постоянные, не зависящие от температуры коллектора и температурной среды вокруг коллектора.

Величина конвекционных теплопотерь коллектора, нагретого под воздействием солнечных лучей, значительно зависит от разности температур коллектора и окружающей среды. Это есть линейная теплопотери.

Вследствие нагрева возникает излученная тепло – потеря, величина которой тоже зависит от величины разности температур коллектора и окружающей среды. Это есть

второстепенные тепловые потери. На рисунке 4 представлен график зависимости КПД коллектора от влияния потерь.

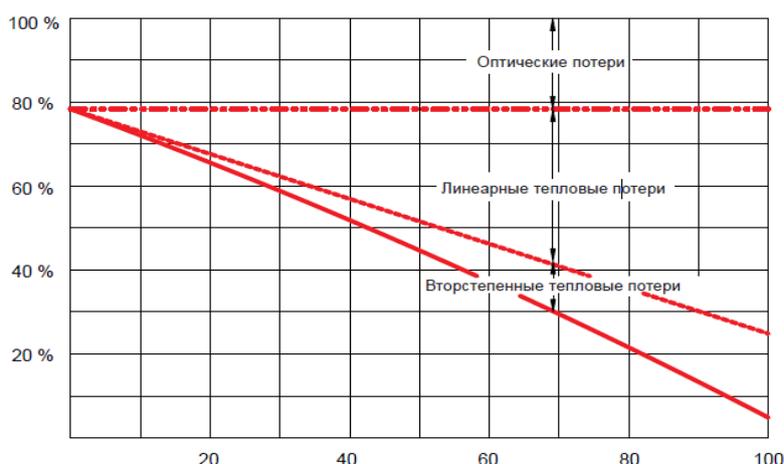


Рис. 4. Зависимость КПД коллектора от потерь

КПД коллектора выражается отношением количества полезного тепла, выработанного коллектором к произведению площади коллектора и интенсивности солнечного излучения [5,8,12].

$$\eta = \frac{Q_h}{A \cdot I_g}, \quad (1)$$

где Q_h - количество полезного тепла выработанного коллектором, Вт;

I_g – интенсивность солнечное излучение, Вт/м²;

A - площадь коллектора, м².

КПД коллектора напрямую зависит от интенсивности солнечного излучения и разности температур поверхности коллектора и окружающей среды. Поэтому КПД можно представить в следующей зависимости [5]:

$$\eta = \eta_0 - \alpha_1 \frac{dT}{I_g} - \alpha_2 \frac{dT^2}{I_g}, \quad (2)$$

где η_0 – оптический КПД (характеризуется прозрачностью изоляции, как правило, значение не превосходит 0.8 [3]);

α_1 – коэффициент линейных тепловых потерь;

α_2 – коэффициент второстепенных тепловых потерь;

dT – разность температур поверхности коллектора и окружающей среды [5].

Используя данное выражение была получена зависимость КПД от разности температур при различных интенсивностях излучения (рис. 5).

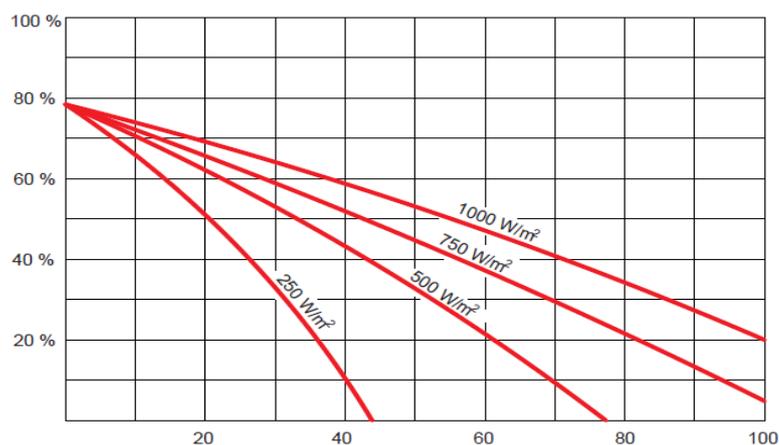


Рис. 5. Зависимость КПД коллектора от разности температур при различных интенсивностях облучения

Как видно из графика, при большей интенсивности излучения можно добиться наибольшей эффективности, однако рост разности температур влечет за собой снижение КПД, что обусловлено ростом потерь.

4. Аккумулирование тепловой энергии

4.1. Бак – аккумулятор (Бойлеры) солнечного теплоснабжения

Энергия солнечного излучения, накопленная коллектором, передается среде для дальнейшего отопления дома. Однако, сначала, полученное тепло необходимо накапливать, т.е. аккумулировать

Бак – аккумулятор (бойлер) имеет двойную оболочку, в пространстве которой циркулирует теплопроводящая жидкость. Внутри бойлера поступает холодная вода, которая нагревается путем естественного теплообмена [5]. Преимущество состоит в том, что в пространстве между оболочками может находиться любая теплопроводящая среда, такая как аммиак, метанол или этанол (табл.1) [13]. Пример теплопроводящей системы с использованием бойлера представлен на рисунке 6.

Таблица 1.

Основные параметры теплопроводящих сред при нормальных условиях

Среда	Формула	Т кипения, С ⁰	Теплопроводность, Вт/м*К
Аммиак	NH ₃	-33,34	2,377
Метанол	CH ₃ OH	64,7	0,202
Этанол	C ₂ H ₅ OH	78,37	0,167

Современные баки – аккумуляторы средней емкости (100-500 литров) обладают мощностью 30-70 кВт, а потери энергии составляют 1-2 кВт*ч в сутки [14].

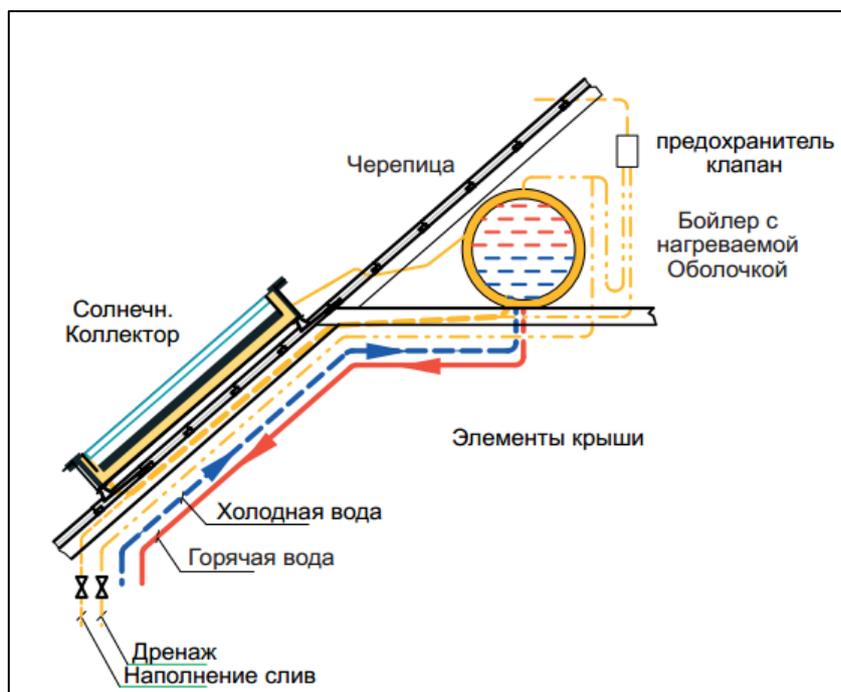


Рис. 6. Активная теплопроводящая система с использованием бака – аккумулятора

4.2. Теплообменные аппараты

Существуют два варианта использования теплообменных аппаратов – наружный и с внутренней спиральной [5,6] (рис.7).

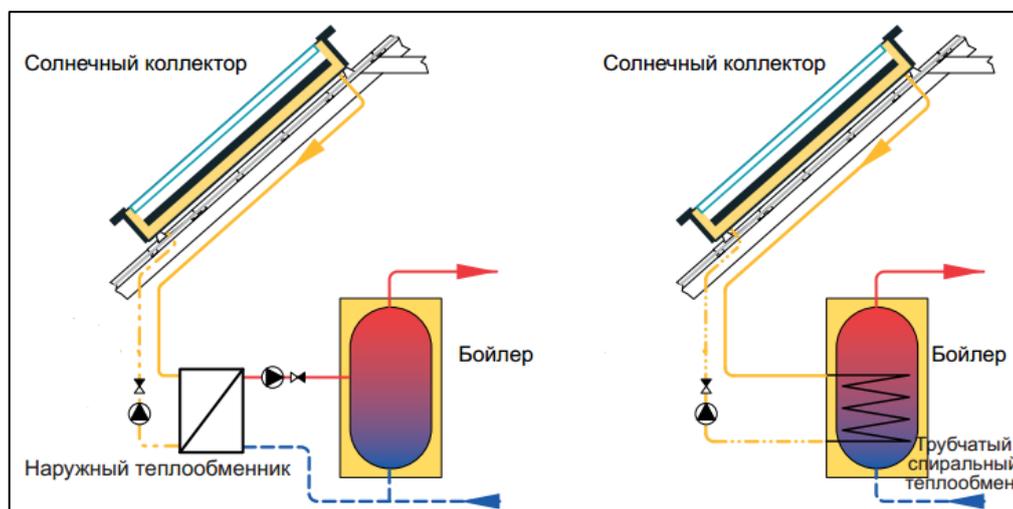


Рис. 7. Примеры исполнения наружного теплообменного аппарата и теплообменника с внутренней спиралью

Бойлер с внутренним теплообменником имеет преимущество в компактности. Однако, система с внешним аккумулятором, как правило, обладает большей мощностью,

поэтому, применяются в тех случаях, когда необходим подогрев большого количество воды (например, для бассейна) [5].

4.3. Подогрев воды при помощи водонагревателей

Ввиду непостоянства солнечного излучения трудно добиться бесперебойного теплоснабжения. Поэтому, в дополнение, используются электро- или газовые бойлеры [6] (рис 8). Для их работы требуются дополнительные затраты энергоресурсов, которые в свою очередь могут добываться различными путями.

Использование циркуляционного насоса дает возможность регулярно и последовательно подавать в бойлер, подогреваемый газом или электричеством, теплую воду.

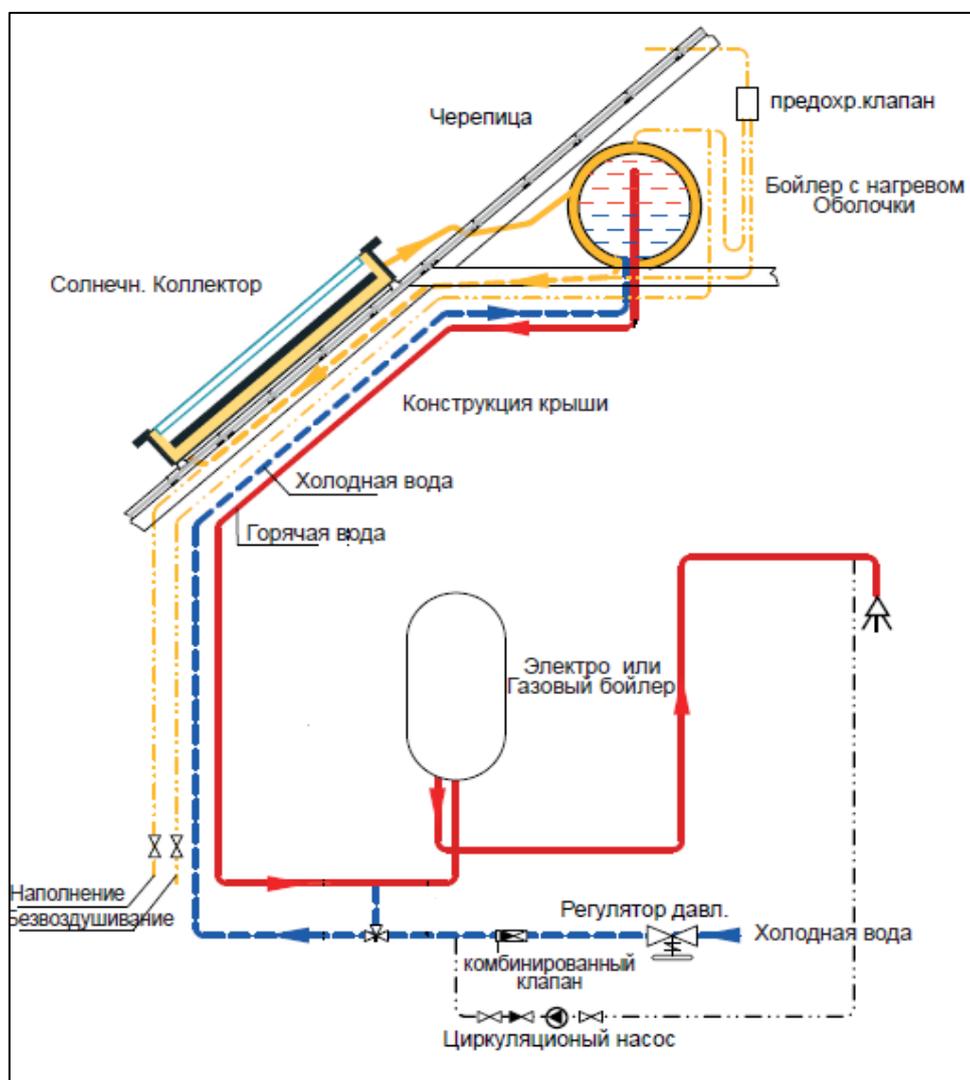


Рис. 8. Пример использования электронагревателя в системе солнечного теплоснабжения

Наличие предохранительных клапанов предусмотрено для периодического использования системы теплоснабжения [5,6].

5. Аналитическое обоснование целесообразности использования систем солнечного теплоснабжения

Для определения месячной нагрузки горячего водоснабжения используется выражение [12]:

$$Q'_{Г.В.} = \rho C_p V_{Г.В.} (T_{Г.В.} - T_{Х.В.}) N n_d, \text{ кДж}, \quad (3)$$

где ρ – плотность воды [кг/м³], C_p – теплопроводность воды [кДж/кг*К], $V_{Г.В.}$ – суточный расход горячей воды на 1 человека [м³/сут.], $T_{Г.В.}$ – температура горячей воды [°С], $T_{Х.В.}$ – температура холодной воды [°С], N – число жильцов, n_d – число дней.

Нагрузки на отопление выражаются [12]:

$$Q_0^i = U A_3 D, \text{ кДж}, \quad (4)$$

где A_3 – площадь здания [м²], U – полный коэффициент тепловых потерь [кВт/(м²К)], D – число градусо-дней в месяц [К*сут.]

Расход теплоты на отопление и горячее теплоснабжение для i -ого месяца [12]:

$$Q_H^i = Q_0^i + Q_{Г.В.}^i, \text{ кДж} \quad (5)$$

Годовая экономия топлива в рублях составляет [18]:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \frac{C_T f^{\text{год}} Q_H^{\text{год}}}{\eta_{\text{т.г.}}} \quad (6)$$

где $f^{\text{год}}$ – годовая степень замещения топлива, $Q_H^{\text{год}}$ – годовая нагрузка теплоснабжения, [кДж/год], C_T – стоимость тепловой энергии, принимает 1000 руб./ГДж [18], $\eta_{\text{т.г.}}$ – КПД теплогенерирующей установки.

Срок окупаемости [18], годы

$$\tau = \frac{C_{\text{гс}} A}{\mathcal{E}_{\text{год}}}, \quad (7)$$

где $C_{\text{гс}}$ – удельные затраты, принимаем 15000 руб./м² [18].

На основе приведённых формул для дома площадью 150 м², в котором проживают четыре человека получаем:

1. Нагрузка на отопление и горячее водоснабжение составляет 59,831 ГДж за год эксплуатации.
2. Годовая экономия топлива составляет ~6000 руб.
3. Срок окупаемости составляет 6-7 лет.

Заключение

В данной статье рассмотрены системы и решения, обеспечивающие теплоснабжением жилой дом за счет солнечной энергии. Все перечисленные методы обеспечивают эффективную и бесперебойную подачу тепла в жилое помещение, а также обеспечивают горячим водоснабжением для бытовых нужд.

Пример расчета солнечной системы теплоснабжения позволяет дать оценку целесообразности использования получения теплоэнергии за счет солнечного излучения.

Данные технологии могут служить для частичной замены топливных энергоресурсов, особенно, это актуально для регионов, в которых затруднительна подача традиционных ресурсов по географическим или экономическим соображениям.

Список литературы

- [1]. Танака С., Суда Р., Жилые дома с автономным солнечным теплохладоснабжением. / Перевод с японского Успенской Е.Н. / Под редакцией д.т.н., проф. М.М. Колтуна, к.т.н. Г.А. Гухман. – М.: Стройиздат, 1989. – 184 с.
- [2]. Холлоуэй Д. (Dennis Holloway). Пассивный солнечный дом: Простой метод проектирования. Методика проектирования систем отопления пассивных солнечных домов на основе принципов прямого и косвенного обогрева. / Пер. с англ. Меньшенина О.Б. RenderX. 2006. - 26 с.
- [3]. Авезов Р.Р., Барский – Зорин М.А., Васильева И.М., Лантух Н.Н., Миладзе Н.В., Минчук В.И., Нацвилишвили Б.И., Орлов А.Ю., Рябинович М.Д., Сарнацкий Э.В., Смирнов С.И., Ферг А.Р., Чистович С.А. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / под редакцией Сарнацкого Э.В., Чистовича С.А. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
- [4]. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (курс лекций): учеб. пособие / сост. В. А. Агеев. – Саранск: Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва. Кафедра теплоэнергетических систем. 2014. – 184 с.
- [5]. Tüzeléstechnikai Kft. GB-Ganz Kézikönyv a design. Budapest: 2009. -32p. Режим доступа: <http://www.gb-ganz.hu/> (дата обращения 02.03.2016).
- [6]. Energy Efficiency and Renewable Energy. Solar Water Heating. // DOE/GO-10096-050, FS 119, March 1996. - 8 p. Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/fy96/17459.pdf> (дата обращения 02.03.2016).
- [7]. Gadgil A, Jennifer L. Jones, Kalka M., Mendoza H., Robinson S., Rueda A., Vechakul J. Solar Water Heater Project “Design for Sustainable Communities” / Final Report May 13,

2009. - 35 p. Режим доступа: <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/story/2015-06-21/swh-rpt-2009.pdf> (дата обращения 02.03.2016).
- [8]. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет системы солнечного теплоснабжения – М.: Энергоиздат, 1982 – 80 с.
- [9]. Jinling Z., Bin C., Jingjun L., Yongxun W. Dynamic thermal performance simulation of an improved passive solar house with Trombe wall // ISES Solar word Congress, 2007, Beijing China, Vols I-V: 2234–2237.
- [10]. Passive Solar Design Sustainable Sources: 21 years of online Green Building information
Режим доступа: <http://passivesolar.sustainablesources.com> (дата обращения 02.03.2016)
- [11]. Joseph A. Passive Solar Handbook. Volume I: Introduction To Passive Solar Concepts / United States Air Force, 1998. - 90 p.
- [12]. Шперный А.В., Чижев С.Е., Бердышев Н.Ю. Низкопотенциальные и альтернативные источники энергии. Методические указания к контрольной работе «Расчет системы солнечного теплоснабжения» для студентов ЗГИА специальности 7.090510 «Теплоэнергетика» заочной формы обучения. – Запорожье: Изд-во ЗГИА, 2003. – 36 с.
- [13]. Чуклин С.Г., Никульшина Д.Г., Чумак И.Г. Примеры расчетов холодильных установок. – М.: Пищевая промышленность, 1964. -364 с.
- [14]. Бойлер косвенного нагрева «Я S o l a r». Руководство по эксплуатации. М.: ООО «Новый полюс», - 2015. – 12 с.
- [15]. База данных NASA SSE – NASA Surface meteorology and Solar Energy. Режим доступа: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/> (дата обращения 05.02.2016)
- [16]. Астапенко В.А., Мовнин С.М., Протасов Ю.Ю. Фотоэлектроника. - М.: Янус-К, Ч. 1. - 2011. - 654 с. - ISBN 978-5-8037-0512-3.
- [17]. Корышев О.В., Ноготков Д.О., Протасов Ю.Ю., Т е л е х В.Д. Термодинамические, оптические и транспортные свойства рабочих веществ плазменных и фотонных энергетических установок. В 3 т. Т. 1. Элементы полимерного ряда (С, О, Н, Si, F, N). / Под ред. Ю.С. Протасова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 640 с.
- [18]. Альтернативные источники теплоснабжения: методические указания / Сост. Е.А. Иванова. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2013. – 40 с.