

Gaylen Atkinson, член ASHRAE,  
Tom Colvin, P. E., член ASHRAE

# СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В СИСТЕМЕ ГВС ПРИ ПОМОЩИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ

В Солт-Лейк-Сити силами ASHRAE был реализован первый проект поддержки устойчивого развития и снижения воздействия человека на окружающую среду в социальной сфере. Идея проекта была озвучена на ежегодном заседании общества, проходившем в этом городе. Под руководством главы отделения ASHRAE в штате Юта были осуществлены проектирование и последующий монтаж системы нагрева горячей воды (ГВС) с использованием солнечных коллекторов в приюте для подростков, попавших в тяжелую жизненную ситуацию. Данный проект позволил членам общества отблагодарить за гостеприимство город, принявший ежегодное заседание общества, а также получить больше информации о работе солнечных систем ГВС.



Система была установлена в приюте для подростков YWCA Lolie Eccles в Солт-Лейк-Сити. Этот объект предназначен для проживания 12 беременных или воспитывающих детей девочек-подростков, которые остались без крова или попали в тяжелую жизненную ситуацию. Несмотря на то что сроки исполнения проекта были крайне сжатыми, система подогрева воды с солнечными коллекторами подготавливает

горячую воду согласно проектной мощности с момента запуска.

Благотворительный проект вызвал большой интерес и получил значительную финансовую поддержку. В связи с этим было принято решение досрочно сдать проект. Однако, к сожалению, отказ от принятого ранее решения по срокам привел к тому, что в процессе проектирования и монтажа системы был допущен ряд

неточностей, которые нам пришлось исправлять уже после сдачи системы в эксплуатацию.

В данной статье мы расскажем о выборе начальных параметров для проектирования системы, а также предоставим детальное описание процессов установки и дальнейшей эксплуатации системы. Это позволит читателям получить представление о различных проблемах, с которыми мы столкнулись, а также о решениях, которые были разработаны и применены на объекте, и важных аспектах обслуживания систем ГВС, использующих солнечную энергию. Такая информация представляет большой интерес для проектировщиков, которые работают с подобными системами. Материалы в данной статье дополнены системными диаграммами, на которых отображены работа системы в первые годы ее работы и повышение ее энергоэффективности вследствие вносимых изменений.

### Проектирование системы

Первоначальной задачей проектирования было определить необходимую нагрузку на систему ГВС. Чтобы сделать систему максимально энергоэффективной, решено было использовать на объекте водосберегающую арматуру.

Для того чтобы точно определить, сколько горячей воды в день необходимо для данного объекта и какой арматуре отдать предпочтение, на существующем объекте в душевых были установлены несколько видов водосберегающей арматуры. Администрация объекта оказывала непосредственную помощь при проектировании, предоставляя данные о ежедневном расходе воды постояльцами приюта.

В результате сбора информации стали известны следующие данные: при прежней, неэффективной системе ГВС расход горячей воды для данного объекта составлял в среднем 75 галлонов в день (284 л/сутки) в будни и 10 галлонов в день (38 л/день) по выходным. В приюте проживают одновременно 12 девочек-подростков и их дети. Теперь, когда в данном здании установлена система подогрева воды с солнечными коллекторами, в течение последних 10 месяцев фактическое использование горячей воды было измерено и составило 65 галлонов в день (246 л/день) на одного человека в будни и 5 галлонов в день (19 л/день) – в выходные.

Далее были построены графики использования воды, на которых были отображены расход воды, продолжительность ежедневного

принятия душа и стирки вещей, пики водопотребления с учетом использования воды на прочие нужды. С учетом этих данных был рассчитан оптимальный объем водонагревателей и баков-аккумуляторов. Используя специальное программное обеспечение, моделирующее нагрев воды с помощью солнечной энергии, были рассчитаны оптимальные размеры солнечной панели для этого объекта. К установке были приняты четыре солнечные панели с коллекторами размером 4 на 8 футов (1,2 на 2,4 м). Размер этой системы был рассчитан, чтобы обеспечить подогрев 63 % от годового расхода горячей воды для объекта.

Для проекта решено было использовать также фотоэлектрическую (PV) панель, чтобы она снабжала энергией насос, обеспечивающий циркуляцию гликоля в солнечных коллекторах подогрева ГВС. Это новая тенденция для систем солнечного подогрева воды для ГВС, что исключило затраты на энергию из городских электросетей. В случае если будет применяться насос, питающийся от электросети, и во время его работы будут перебои в подаче электроэнергии, то циркуляция остановится и гликоль перегреется в коллекторах. Дополнительным преимуществом использования фотоэлектрической панели является предотвращение потери гликоля из системы из-за его возможного вскипания в солнечных коллекторах.

### Мониторинг и управление

Компании, занимающиеся автоматизацией инженерных систем, в качестве пожертвования предоставили многофункциональные системы, которые были использованы для мониторинга системы, вычисления энергетической эффективности и контроля перепада температур. Расходомеры, датчики температуры и другие измерительные приборы сообщали данные о состоянии системы в режиме реального времени.

Естественно, небольшие солнечные системы подогрева горячей воды, как правило, не нуждаются в такой сложной автоматизации. Но автоматизация была важной составляющей нашего проекта – необходимо было выявить проблемные области в ходе ввода системы в эксплуатацию. При помощи удаленного мониторинга были проанализированы журналы данных производительности системы, также было возможно контролировать работу системы, чтобы добиться максимальной энергоэффективности при работе системы (рис. 1).

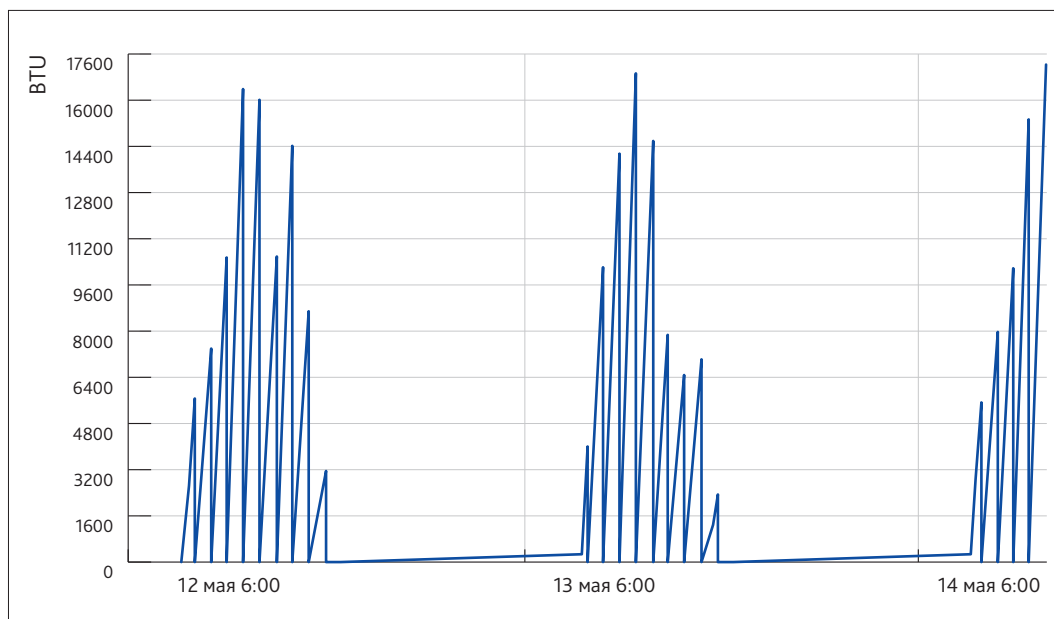


Рис. 1. Почасовой мониторинг работы солнечного коллектора

### Монтаж системы

Приют является хорошим объектом для мониторинга работы системы подогрева воды при помощи солнечных коллекторов, так как горячая вода в нем используется ежедневно. Было решено установить два бака-аккумулятора объемом 80 галлонов (303 л) со встроенными гликолевыми теплообменниками. Холодная вода предварительно нагревается в этих баках, а затем подается для догрева в два бытовых водонагревателя, работающих на газе. Объем водонагревателей также составляет 80 галлонов (303 л), они нагревали воду на нужды ГВС до реконструкции системы.

Только солнечные коллекторы и крепеж были приобретены на деньги, пожертвованные членами ASHRAE. Проект и монтаж были осуществлены местными фирмами на безвозмездной основе. Остальное оборудование также было пожертвовано различными фирмами-производителями.

Проект был осуществлен в кратчайшие сроки, но все же мы рекомендуем тщательно прорабатывать проекты устойчивого развития, чтобы избежать проблем в эксплуатации системы и последующей ее доработки.

### Запуск системы в работу

Проектная и монтажная организации, участвовавшие в проведении работ, были нам

хорошо известны и компетентны в области HVAC, но эти организации, так же как и мы, не имели значительного опыта в использовании солнечных коллекторов для подогрева горячей воды. В результате мы узнавали особенности работы солнечных систем непосредственно в процессе их монтажа и эксплуатации. Первая проблема, выявленная во время монтажа системы: компания, предоставившая безвозмездно баки-аккумуляторы, ошибочно отправила системы, предназначенные для эксплуатации в штате Флорида. Данный тип системы подогревает непосредственно воду без использования гликолевых теплообменников, которые необходимы для более холодного климата штата Юта.

Поскольку баки-аккумуляторы уже поступили к нам, было решено оставить их на месте, чтобы они работали в течение лета, и исправить проблему, прежде чем начнется зима. Мы собирались своими силами добавить отдельный теплообменник для гликоля и установить на контуре воды добавочный насос. Это потребовало бы повторно перемонтировать трубы, изменить систему автоматизации, добавив дополнительные датчики и контроллер для насоса. К счастью, компания, которая предоставила оборудование, согласилась отправить нужные баки-аккумуляторы, а подрядчик монтажной организации – повторно сделать обвязку труб для них. Это позволило оставить

систему работать в соответствии с первоначальным проектом (рис. 2). Баки-аккумуляторы были установлены несколько месяцев спустя, и мы запустили в работу гликолевые теплообменники, но пришлось устраивать дополнительные краны, которые были предназначены для заправки в системы гликоля. Кроме того, как только в системе появился гликолевый контур, мы также должны были добавить дополнительный расширительный бак, чтобы он компенсировал изменение объема в контуре горячей воды.

Вторая важная особенность была выявлена в процессе удаленного мониторинга системы. Поскольку в приюте в выходные используется очень мало горячей воды, в баках-аккумуляторах температура возрастала до 180 °F (82 °C). Выяснилось, что это происходит вследствие того, что существующий подмешивающий клапан не добавлял в систему холодную воду. В связи с тем, что вода в смонтированной системе трубопроводов просто шла в обход этого участка по байпасу, данный факт был обнаружен после тщательного отслеживания всех старых и вновь смонтированных труб.

Кроме того, обнаружилось, что в смонтированной системе отсутствовал обратный клапан на насосе рециркуляции горячей воды, показанный на существующей схеме, поэтому перегретая солнцем горячая вода вновь попадала в систему в обход существующих водонагревателей и подмешивающего клапана. Это стало очевидным после того, как добавили контроллер в циркуляционный насос, который был установлен и работал в старой системе до реконструкции, при которой была смонтирована солнечная система нагрева воды. Обслуживающий персонал вручную несколько раз сбрасывал перегретую солнцем воду, чтобы предотвратить потенциальную опасную ситуацию. Подрядчик монтажной организации внес необходимые изменения в систему, добавил обратный клапан, после чего появилась возможность настроить подмешивающий клапан должным образом, чтобы он выполнял функции по обеспечению безопасной работы системы.

Чтобы предотвратить возможные в будущем проблемы, для мониторинга системы горячей воды были добавлены дополнительные датчики температуры. Также был добавлен

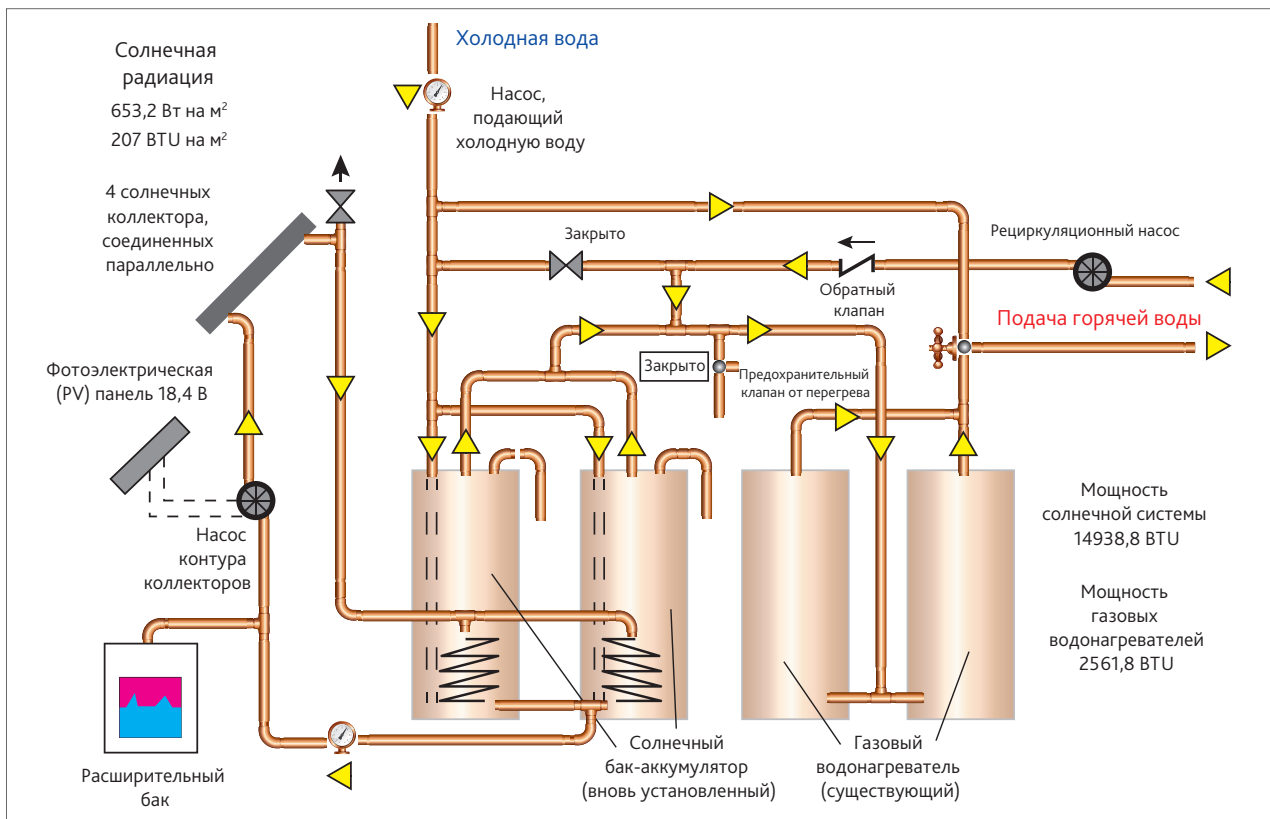


Рис. 2. Система подогрева воды в системе ГВС с использованием солнечных коллекторов

электромагнитный клапан – теперь система может автоматически сбрасывать горячую воду, чтобы предотвратить перегрев в дни неинтенсивного использования горячей воды.

Насос подавал около 2 галлонов в минуту (0,13 л/с) городской воды в пиковые солнечные дни или 0,5 галлона в минуту (0,03 л/с) на одну коллекторную панель, что соответствовало требованиям, указанным производителем коллекторов. Тем не менее это количество, вероятно, не будет соответствовать норме, когда гликоль будет добавлен в систему. Когда теплообменники для гликоля были установлены в баки-аккумуляторы, сначала запустили систему на водопроводной воде в течение нескольких дней, чтобы обнаружить любые проблемы, прежде чем в систему закачают гликоль. Гидравлические испытания водопроводной водой показали герметичность контуров, но мы обнаружили, что один резервуар нагревался до 155 °F (68 °C) в течение времени, а другой нагревался только до 125 °F (52 °C). С помощью подрядчика был повторно произведен гидравлический расчет гликолевого контура системы, обслуживающего теплообменники, учитывая каждый отвод и тройник, чтобы убедиться, что система труб, обслуживающая оба теплообменника, является действительно сбалансированной. На следующий день температура в баках была в пределах 0,5 °F (0,3 °C). Если бы был использован более мощный насос с большим расходом, работающим от электроэнергии в городских сетях, мы могли бы исправить проблему балансировкой запорных клапанов. Это не представлялось возможным с насосом постоянного тока с низкими расходом и напором, получающим питание от фотоэлектрических батарей, который был использован в проекте.

#### **Управление и мониторинг в режиме реального времени**

Исходная последовательность управления осуществляется по дифференциальным датчикам: запуск и остановка солнечного насоса основаны на выходных данных, полученных от коллекторов и баков-аккумуляторов.

Однако первоначально мы начали с более простого подхода к управлению с учетом того, что насос получал питание от фотоэлектрической панели – пик нагрузки, когда солнце отдает максимальное количество энергии фотоэлектрической панели, соответствует периоду накопления горячей воды.

Вскоре мы обнаружили, что насос работает в течение нескольких часов за пределами тех 8 ч ( $\pm 4$  ч от полудня), являющихся расчетным периодом для сбора тепла. Это происходило потому, что система автоматизации была настроена таким образом, что циркуляционный насос, обслуживающий контур коллекторы-баки-аккумуляторы, работал до тех пор, пока хватало солнечной энергии для выработки электроэнергии.

Подобный алгоритм работы привел к тому, что тепловая энергия, собранная в баках-аккумуляторах в пиковые часы солнечного излучения, из-за продолжающейся циркуляции начинала уходить в наружный воздух через коллекторы. Данные, содержащиеся в журналах, показали, что ежедневно количество накопленного тепла к концу дня начинало уменьшаться, в то время как температура на выходе из коллектора была ниже, чем на входе.

Так как в системе были установлены датчики температуры на входе и выходе из коллектора и на баке-аккумуляторе, мы смогли запрограммировать систему автоматизации таким образом, чтобы исключить работу насоса в том случае, если на выходе из коллектора температура была ниже, чем в резервуарах. Насос с нормально замкнутыми реле был смонтирован так, чтобы в случае сбоя питания насос продолжал работать с PV-панели. Это оказалось мудрым решением, так как здание пережило несколько сбоев питания, а PV-насос работал во время отключения, предотвращая перегрев и потерю гликоля.

Другая особенность заключалась в том, что, если вода в баках-аккумуляторах была горячей и солнце закрывали тучи, как правило, это происходило во второй половине дня, температура на выходе из коллекторов быстро падала. Если значительное количество холодной воды поступало в бак в то же время из-за стирки белья и т.д., температура воды в баке-аккумуляторе была холоднее, чем на выходе коллектора, насос продолжал работать, при этом происходила потеря аккумулированной теплоты. Это было также заметно на вычисленных показаниях накопленной за день тепловой энергии. Для устранения данного недочета в работе системы была изменена последовательность управления. Были проведены исследования с задержкой времени и минимальным временем автономной работы насосов для предотвращения частых пусков насоса при запуске и остановке утром во избежание потери тепла через коллекторы.

Исследования показали, что большое значение имеет время работы горелки водонагревателя.

При этом было отмечено, что горелка включалась автоматически в тот момент, когда температура воды в солнечных баках-аккумуляторах достигала пиковых значений. В алгоритм управления водонагревателей была добавлена команда отключения горелок в том случае, когда температура в баках-аккумуляторах была значительно выше (но с автоматическим перезапуском горелок, если температура в баках падала слишком низко). Это позволило сохранить большой объем газа.

### Рекомендации для будущих проектов

Не позволяйте радости от предстоящего воплощения мечты – установки системы, способной сократить расходы топлива на 63 %, – принимать слишком поспешные решения. Создание хорошего проекта системы, изучение технической документации продукции, последовательные и тщательные процессы строительства и ввода в эксплуатацию требуют больших временных затрат. В том случае, если солнечная система будет соединена с уже существующей системой ГВС, необходимо тщательно

проверить гидравлику и автоматику системы, а также работу клапанов и насосов.

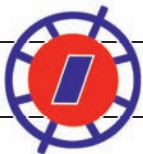
### Заключение

Летом дневные температуры в Солт-Лейк-Сити составляют в среднем 80–90 °F (27–32 °C), что позволяет регулярно получать горячую воду в баках-аккумуляторах с температурой 150 °F (66 °C), а зимой при температуре воздуха 30–40 °F (–1 °C до 4 °C) в дневное время температура воды составляет в баках-аккумуляторах 100–120 °F (38–49 °C). После устранения недочетов работа системы превзошла ожидания в экономии энергии.

*Начало. Окончание статьи о работе системы в зимний период читайте в следующем номере.*

*Перевод и техническое редактирование выполнены Н.А. Шониной.*

*© ASHRAE. Перепечатано из журнала ASHRAE. Ознакомиться с этой и другими статьями на английском языке вы можете на сайте [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)*



## НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Хотелось бы отметить, что в России фирмой «НОВЫЙ ПОЛЮС» было организовано производство главной составляющей системы солнечного теплоснабжения – коллектора ЯSolar. Полный цикл производства солнечного коллектора ЯSolar осуществляется в России (включая пайку абсорбера). Специально разработан метод пайки медных труб с формованным листом TiNOX для улучшенного теплового контакта. При изготовлении используется лучшее современное покрытие, поглощающее максимум солнечной энергии. Цельнолистовой медный абсорбер с немецким покрытием TiNOX обеспечивает поглощение более 95 % солнечной энергии, а излучение составляет менее 5 %. В коллекторе применяются антибликовое закаленное стекло с прозрачностью более 92,5 % и двойная инновационная теплоизоляция толщиной 60 мм. Благодаря примененным технологическим решениям и материалам КПД солнечного преобразователя ЯSolar превышает 83 %, что позволяет эффективно использовать его даже в зимний период.

Подробные технические характеристики и примеры реализованных проектов можно посмотреть на сайте производителя <http://www.newpolus.ru>. Небольшая стоимость по сравнению с зарубежными аналогами и высокое качество материалов солнечного водонагревателя позволяют уменьшить период окупаемости систем альтернативного теплоснабжения и повысить их надежность. Производитель настолько уверен в качестве изготавливаемых солнечных коллекторов ЯSolar, что предлагает гарантию 3 года, а срок службы в системах, аналогичных рассмотренным в данной статье, составляет более 25 лет. ❖

