

УДК 620.91:662.997

## ПОДЗЕМНОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Ермоленко В. И., Грицук А. А., Шалабодова К. Ю.

Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель Муслина Д. Б.

В рамках национальной программы по освоению энергетических ресурсов разработан проект теплоснабжения группы коттеджей с помощью солнечной энергии и теплонасосных установок, использующих тепло нагретых грунтовых вод. Система спроектирована для условий района г. Ландскруна (Южная Швеция). Первоначально она намечалась для краткосрочного аккумулирования тепла, в последующем - для сезонного. Для этого планируется проведение экспериментов с целью определения возможности создания сезонного подземного теплоаккумулятора (ПТА). В скальных породах на глубине 30 м (Швеция) сооружен сезонный подземный теплоаккумулятор солнечной энергии емкостью 100 тыс. м<sup>3</sup>. Его годовая энергоемкость 5500 МВт·ч, что эквивалентно 550 т мазута. Подземный теплоаккумулятор имеет кольцевую форму, его высота 30 м, наружный и внутренний диаметры, соответственно, 75 и 35 м. С помощью солнечной энергии отапливается 550 жилищ. Общая поверхность коллекторов 4,2 тыс. м<sup>2</sup>.

Летом и осенью в ПТА поступает нагретая вода до 90 °С, а забирается из него с температурой 65-70 °С. Среднегодовой КПД 30%, потери тепла неизолированного подземного теплоаккумулятора в конце первого года эксплуатации составят 70 %, а через 4 года – 32 %, через 10 лет - не превысят 28 % (остывание за 25 ч составляет 10 °С). Стоимость тепла от подземного теплоаккумулятора эквивалентна стоимости тепла от теплосети.

В Швеции разрабатывается проект сезонного ПТА, включающий водоем и подземные горные выработки объемом 700 тыс. м<sup>3</sup>. Нагретая летом вода будет закачиваться в подземный теплоаккумулятор. Теплоаккумулирующая энергоемкость составит 11-170 ГВт·ч. В отопительный период вода из ПТА поступает в теплосеть; при падении температуры воды ниже 6 °С, она будет использована в качестве источника тепла для теплонасосных установок.

Одним из практических параметров является КПД подземного аккумулирования тепловой энергии, который представляет собой отношение между количеством возвращаемого и запасаемого тепла. Его значение зависит от уровня падения температуры. Предположительно считается, что лучше хранить тепло при более высокой температуре, что допускает более высокое падение температуры. Однако падение на 40—50 °С за несколько месяцев делает непригодным возвратное тепло для получения электроэнергии. Эксперименты и расчеты дают основание на достижение КПД на уровне 75-80 %.

В последние годы в Нидерландах широкое распространение получили установки подземного аккумулирования тепла и холода в водоносных пластах. Подземное аккумулирование тепловой энергии позволяет реализовать летнее охлаждение с помощью зимнего холода, а зимний подогрев - с помощью летнего тепла. Такие установки позволяют сэкономить порядка 50-75 % эксплуатационных затрат на тепло- и холодоснабжение по сравнению с традиционными установками (отопительными котлами и холодильными машинами).

Система подземного аккумулирования энергии состоит из двух скважин, через которые откачивается или закачивается вода из водоносного слоя, являющегося аккумулирующей средой. Одна скважина используется для аккумулирования тепла, другая - холода. Скважины находятся на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга, исключая взаимное влияние теплого и холодного "колоколов" и наземно соединены между собой трубопроводом с включенным туда теплообменником.

Годовой цикл схематически можно представить состоящим из 2 ситуаций:

- Лето. Холод (ранее запасенный) из холодной скважины используется для холодоснабжения потребителя. Вода из водоносного слоя с температурой 7-10°С откачивается из холодной скважины и в теплообменнике отдает холод потребителю (например, в систему кондиционирования воздуха). После этого уже с более высокой

температурой она закачивается обратно в водоносный пласт через теплую скважину. Таким образом, по мере подачи холода потребителю сокращается запас холода вокруг холодной скважины, но одновременно создается запас тепла в теплой скважине.

• Зима. Как только у потребителя возникает потребность в тепле, направление процесса меняется: теплая вода откачивается из теплой скважины и после отдачи тепла в теплообменнике закачивается в водоносный пласт через холодную скважину. Теперь вокруг холодной скважины растет запас саккумулированного холода. Таким образом, осуществляется годовой цикл зарядки-разрядки тепла и холода.

В большинстве систем температура закачиваемой воды зимой составляет 6-9°C, а летом 15-25°C, то есть можно говорить об аккумуляции низкопотенциального тепла и холода.

В первых проектах упор делался только на аккумуляцию холода с целью охлаждения. Принципиальная схема приведена на Рисунок 1. Летом здание охлаждается холодом, саккумулированным в водоносном пласте, то есть система подземного аккумуляирования заменяет холодильную машину. В течение зимы производится зарядка холодной скважины с помощью градирни или воздушного теплообменника. Для зимнего отопления используется традиционный котел. Такая схема применяется также и для охлаждения производственных процессов, где круглогодично необходим холод с температурой 10-18°C.

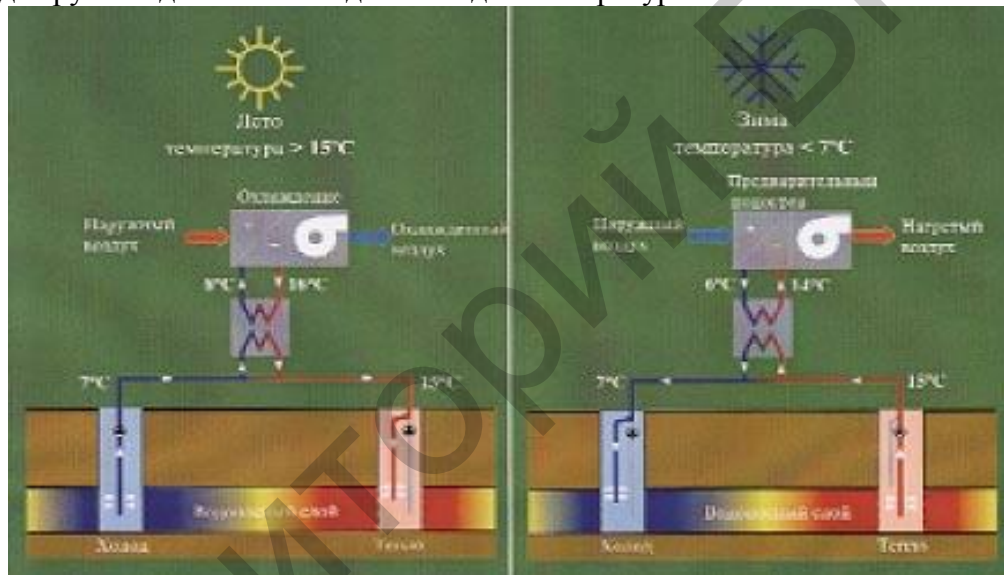


Рисунок 1. Аккумуляция холода с целью охлаждения

На Рисунок 2 представлен вариант более комплексной схемы, где система подземного аккумуляирования объединена с системой центрального кондиционирования здания. Такая схема применима в зданиях, где охлаждение полностью (или почти полностью) осуществляется с помощью вентиляционного воздуха. В этом случае система подземного аккумуляирования поставляет не только холод летом, но и часть тепла зимой, то есть количество сэкономленной энергии возрастает вдвое по сравнению со схемой на Рисунок 1.

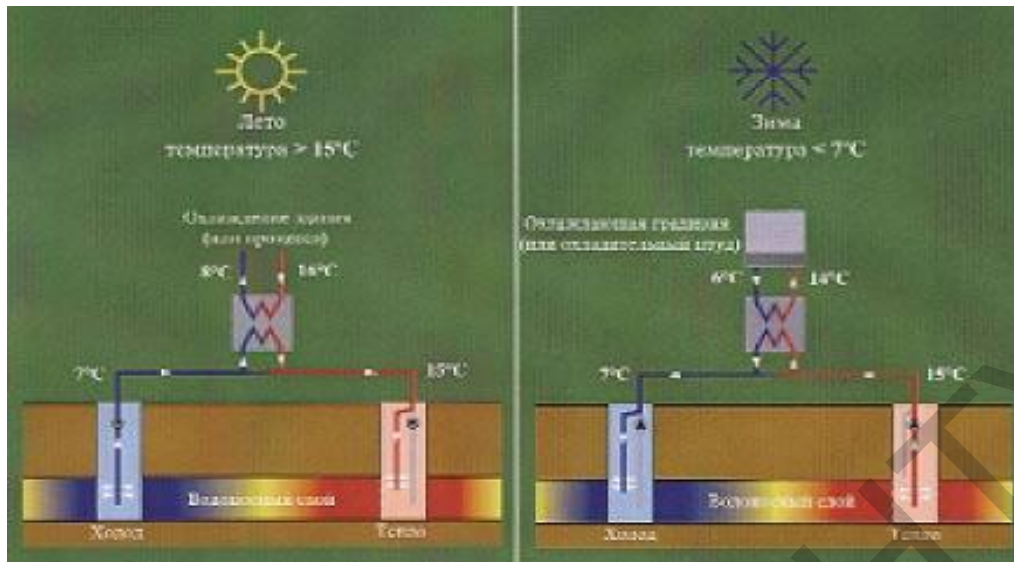


Рисунок 2. Система подземного аккумулирования с системой центрального кондиционирования здания

В течение зимнего сезона в тот же центральный кондиционер подается вода из теплой скважины для (предварительного) подогрева вентиляционного воздуха и одновременной "зарядки" холодной скважины. Летом этот холод используется для кондиционирования, а вода из холодной скважины после подогрева в центральном кондиционере закачивается в теплую скважину.

На Рисунок 3 представлена наиболее комплексная схема, в которой зимнее отопление осуществляется с помощью теплового насоса. Тепловой насос использует низкотемпературное тепло из теплой скважины и повышает его потенциал до температурного уровня, пригодного для целей отопления (низкотемпературного). Одновременно заряжается холодная скважина. Как правило, тепловой насос дополняется пиковым отопительным котлом. На сегодняшний день оптимальной признана схема, где тепловой насос имеет мощность около 20-30 % от максимальной отопительной нагрузки, поставляя при этом около 80 % необходимого тепла.

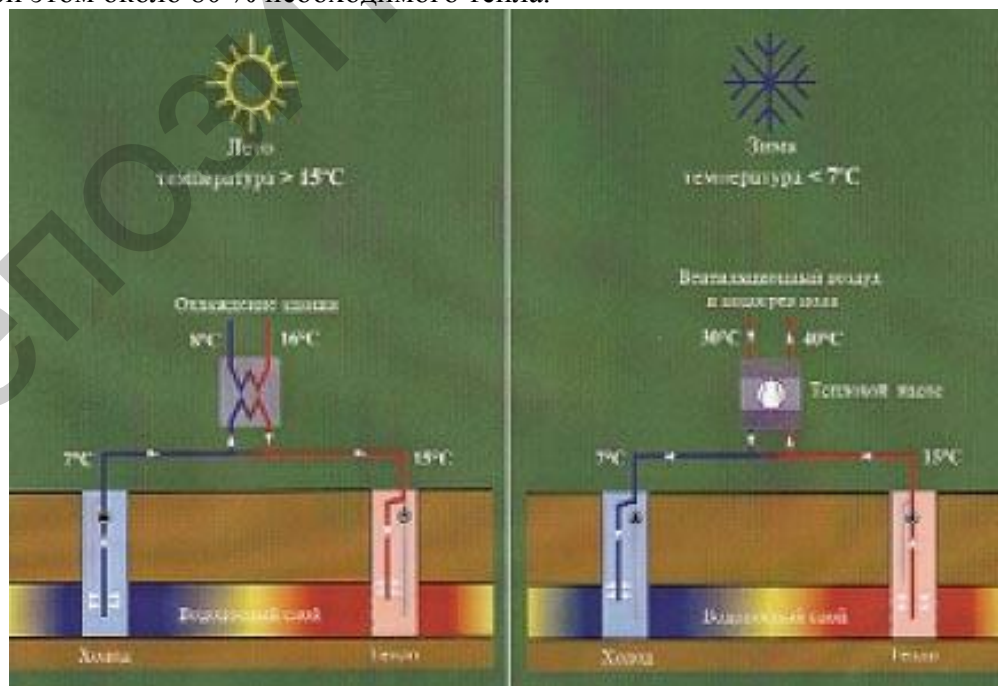


Рисунок 3. Комплексная схема системы отопления, осуществляемого с помощью теплового насоса

Охладительная мощность в реализованных проектах составляет в среднем 500-1000 кВт, при такой мощности система наиболее рентабельна по сравнению с традиционной холодильной машиной. Почти в 60 % установок одновременно используется и аккумулированное в подземном слое низкопотенциальное тепло.

Основным функциональным (и затратным) элементом системы является скважина. Пластиковая труба, помещенная в скважину, на глубине используемого водоносного слоя снабжена отверстиями для откачки и закачки грунтовой воды и фильтрами. В верхней части скважины располагаются погружные насосы, подсоединения закачивающих и откачивающих труб скважины к транспортирующим трубопроводам, средства контроля и управления. Транспортирующие трубопроводы прокладываются, как правило, неглубоко под землей. Теплообмен с системой тепло- и холодоснабжения объекта происходит в пластинчатом теплообменнике с температурным напором в 1-2°C. Таким образом, подземный контур отделен от наземного контура тепло-, холодоснабжения самого здания, что исключает вероятность загрязнения или ухудшения качества грунтовых вод. Система контроля и управления связана с системой регулирования тепловой нагрузки объекта. В большинстве систем дебит скважины регулируется в пределах от 20 до 100 % в зависимости от требуемой тепловой или холодильной нагрузки здания.

#### Литература

1. Snijders A. L. Aquifer thermal energy storage in the Netherlands. Newsletter CADDET Energy Efficiency, Special Issue on the Netherlands, September, 2000.
2. Proceedings TERRASTOCK 2000. 8th International Conference on Thermal Energy Storage. Stuttgart, Germany.