

УДК 662.995 + 662.997 + 536.242

Трофименко А.В.¹, Дмитренко А.А.¹, Лапко Д.П.², Назаренко М.А.³

¹ Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

² ООО Термостандарт

³ ООО Технотур

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ГРУНТОВОГО АККУМУЛЯТОРА В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДОМА

В статті наведено експериментальні результати, які виконано на натурному сезонному ґрунтовому акумуляторі в системі теплопостачання будинку. Отримано залежності різниці температур по висоті обсадної труби від тривалості зарядки акумулятора, а також залежності різниці температур на вході і виході з обсадної труби від об'ємних витрат теплоносія в діапазоні 2,6...40 м³/г.

В статье приводятся экспериментальные результаты, выполненные на натурном сезонном ґрунтовом акумуляторе в системе теплоснабжения дома. Получены зависимости разности температур по высоте обсадной трубы от продолжительности зарядки аккумулятора, а также зависимости разности температур на входе и выходе из обсадной трубы от объемного расхода теплоносителя в диапазоне 2,6...40 м³/ч.

We present the experimental results executed on natural season the soil accumulator in system of a heat supply at home are resulted. Dependences a difference of temperatures on height chink pipes from duration of gymnastics of the accumulator, and also dependence a difference of temperatures on an input and an exit from chink pipes from the volume expense of the heat-carrier in a range 2,6...40 m³/h.

C – теплоемкость;
 h – глубина скважины;
 t – температура;
 Δt – разность температур;
 \dot{V} – объемный расход;
 λ – коэффициент теплопроводности;

ρ – плотность;
 τ – время.
Индексы нижние:
 $г$ – грунт;
 $тн$ – теплоноситель;
 $АК$ – аккумулятор.

Теплоснабжение требует весьма больших затрат энергоносителей. Затраты на расходы угля, мазута, газа при выработке тепловой энергии превосходят в два и более раз расходы на выработку электроэнергии, используемой при теплонасосном теплоснабжении.

Основными недостатками традиционных источников теплоснабжения являются низкая энергетическая, экономическая и экологическая эффективности, что наиболее характерно для малых и средних котельных. Перечисленные недостатки традиционного теплоснабжения могут быть устранены путем применения нетрадиционных методов.

Одним из таких методов является метод использования низкотемпературного природного тепла земли [1, 2]. Отсутствие в литературе экспериментальных данных о периоде зарядки сезонного ґрунтового аккумулятора, дан-

ных о расходе теплоносителя в обсадной трубе (ґрунтового теплообменника) и влияния его на режимные параметры аккумулятора в целом привело к тому, что авторы выполнили ряд исследований на натурном объекте. Это позволило установить зависимости интенсивности отдачи тепла в грунт через обсадную трубу от расхода теплоносителя в ней и выбрать режимные параметры по расходу теплоносителя. Для этого используется ґрунтовый аккумулятор под зданием (рис. 1), который представляет собой 21 вертикальную скважину глубиной 6 м каждая, расположенные квадратным способом со стороной квадрата, равного 3 м, внутри фундаментного ограждения здания. В каждую скважину опускалась заглушенная с нижнего торца полипропиленовая обсадная труба диаметром 75/50 мм с размещенной внутри полипропиленовой трубой диаметром 32/21,2 мм.



Рис. 1. Участок вертикального грунтового аккумулятора в подвале здания.

По внутренней трубе теплоноситель подается, а по зазору между обсадной и внутренней трубами возвращается. Все обсадные трубы через входные и выходные патрубки соединяются с подводящей и отводящей магистралями системы теплоснабжения. В качестве теплоносителя используется 30 % пропиленгликолевый раствор, что позволяет при отборе тепла из грунта понижать температуру грунта почти до 0 °С.

Работа грунтового аккумулятора характеризуется двумя периодами в году: первый – когда аккумулятор заряжается от гелиосистемы; второй – разряжается в отопительный сезон. Следует отметить, что в отопительный сезон аккумулятор также подзаряжается теплом в дневное время суток, в случае достаточной солнечной радиации, о чем в автоматическом режиме сигнализирует датчик температуры на выходе из гелиоконтуров, а в темное время суток – от бака аккумулятора объемом 6 м³.

В Днепропетровском национальном университете на кафедре энергетики в 2008 – 2009 годах были выполнены расчетно-конструкторские работы, на основе которых была спроектирована теплоснабжающая установка для 2-х этажного домика с общей площадью 250 м². Предприятия ООО «Технотур» и «Термостандарт» осуществили сборку теплоснабжающей установки с сезонным аккумулятором тепла, запуск и наладку.

Целью исследований является определение длительности зарядки (разрядки) грунтового аккумулятора для отдачи низкопотенциального тепла (+1...+9 °С) в контур теплового насоса, получение экспериментальных зависимостей скорости нагревания и охлаждения грунтового массива, определение максимальной температуры зарядки грунта в области обсадной трубы.

Особенностью проводимых исследований является возможность экспериментального определения времени зарядки – разрядки

грунтового аккумулятора, что необходимо для инженерных расчетов при проектировании и эксплуатации систем теплоснабжения зданий с помощью теплового насоса.

Натурные исследования проводились на даче в период с 10 августа 2009 г. по 15 января 2010 г.

Датчики температуры Pt-1000 установлены в подводящем коллекторе грунтового аккумулятора и отводящем коллекторе перед входом в циркуляционный насос. Показания снимались через каждые 2 часа работы контура и выводились на пульт автоматического управления всей системы теплоснабжения.

Гидравлическая схема и точки снятия замеров температуры и расхода на отдельных участках грунтового аккумулятора показаны на рис. 2.

Расход теплоносителя через каждый контур грунтового аккумулятора определялся с помощью ультразвукового расходомера Днепр-7 (ТУ 4213-072-00236494-2007).

Результаты измерений расхода, температуры теплоносителя приведены в табл. 1, где Δt – разность температур на входе во внутреннюю трубу и выходе из обсадной трубы сква-

жины.

При работе контура грунтового аккумулятора фиксировалось также давление на входе и выходе из насоса для анализа герметичности всех участков контура, а также для регулирования необходимых расходов (с помощью вентилей) на участках и всем контуре.

Проведено измерение перепада температур в грунтовом теплообменнике в диапазоне расхода теплоносителя 2,6...40 м³/ч (рис. 3).

Установлено, что в случае минимальных расходов происходит наибольшая отдача тепла в грунт, что определяется темпом нагрева грунта вокруг скважины, зависящего от его физических свойств, условиями теплоотдачи на границе грунт – обсадная труба, геометрической формой и размерами скважины.

Табл. 1. Расход и разность температур на участках грунтового аккумулятора

Участок	1	2	3
\dot{V} , м ³ /с	0,0025	0,0023	0,0036
Δt , °С	0,5	0,8	1,5

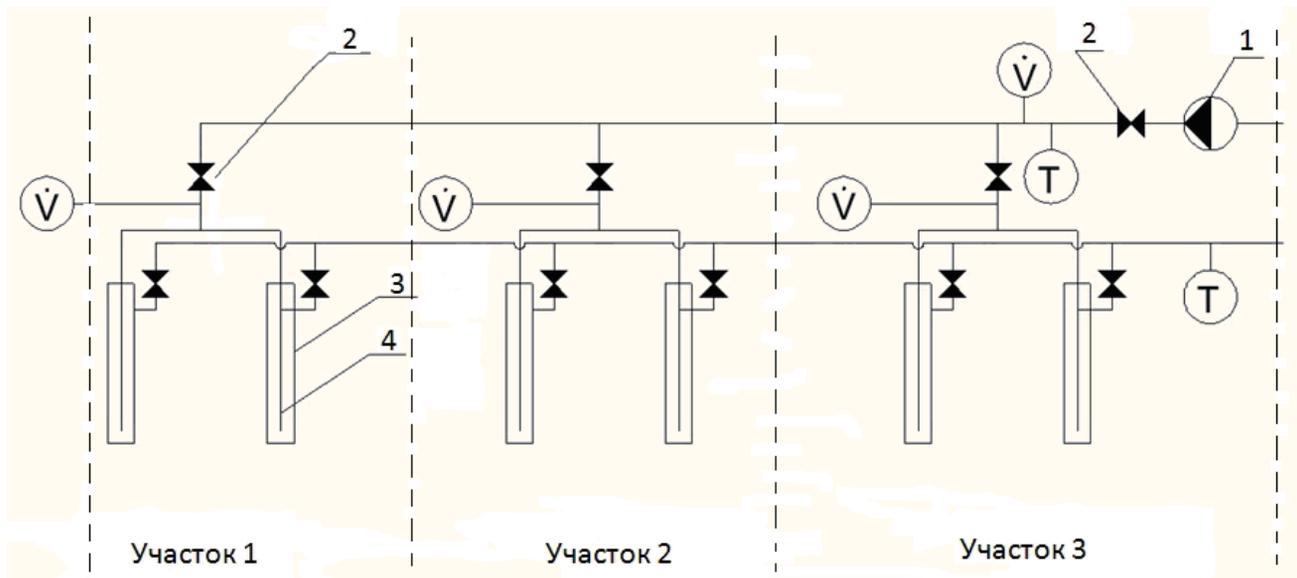


Рис. 2. Схема расположения точек замера температуры T и расхода теплоносителя \dot{V} в грунтовом аккумуляторе: 1 – центробежный насос; 2 – регулировочный вентиль; 3 – обсадная труба; 4 – внутренняя труба скважины.

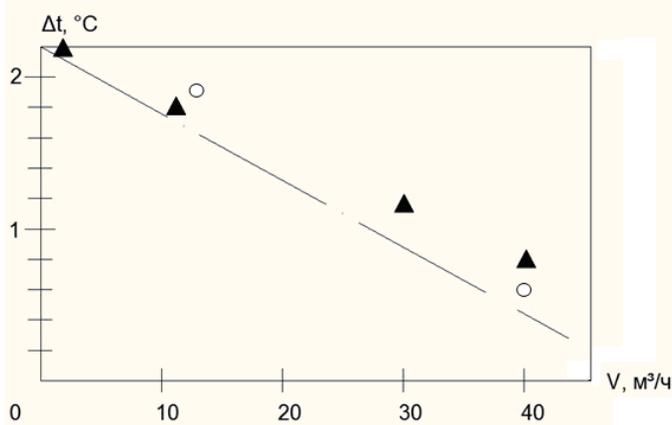


Рис. 3. Перепад температур теплоносителя на одном грунтовом теплообменнике в зависимости от расхода:

- ▲ – замеры, выполненные 24.08.2009;
- – замеры, выполненные 25.08.2009.

При увеличении расхода теплоносителя перепад температур теплоносителя между входом и выходом из аккумулятора уменьшается, что объясняется быстрым прогревом стенки обсадной трубы из-за роста конвективной составляющей теплоотдачи от жидкости в стенку, а отвод тепла в грунт от обсадной трубы остается прежним и теплоноситель не отдает всего тепла в грунт. Это приводит к уменьшению перепада температур теплоносителя. Поэтому, учитывая различные сезонные поступления тепловой энергии в грунтовый аккумулятор, было принято решение не изменять расход теплоносителя в системе грунтового аккумулятора в течение года, а оставить постоянным, равным 21,5 м³/ч. Такой выбор расхода теплоносителя определяется еще и тем, что группа насосов, обеспечивающая прокачку теплоносителя в контуре грунтового аккумулятора, при расходе $\dot{V} = 21,5$ м³/ч находится в зоне оптимальных рабочих режимов насосов. Это в целом сказывается положительно на работе всей теплоснабжающей установки (не греется электродвигатель привода насоса и шум от его работы находится в пределах допустимой нормы по паспортным данным).

Тепловая энергия горячего теплоносителя через наружную стенку обсадной трубы пере-

дается грунту, который представляет собой суглинок со следующими теплофизическими свойствами [3]: $C_p = 1,231$ кДж/(кг·град); $\lambda = 1,13$ Вт/(м·град), $\rho = 1800$ кг/м³. Значение тепловой энергии, которую сможет поглотить грунт определяется тем объемом грунта, который находится вокруг обсадной трубы и температурой, до которой он прогреется. По расчетным оценкам, в случае, если грунт прогреется до температуры 28 °С [2], эта величина составляет не менее $3,027 \cdot 10^9$ Дж.

На рис. 4 представлены зависимости изменения перепада температур по высоте грунтового аккумулятора при начальной температуре грунта $t_2 = 8$ °С, температуре теплоносителя, поступающего из гелиоконтур в грунтовый аккумулятор $t_{ТН} = 46$ °С, и объемном расходе теплоносителя $\dot{V} = 30,24$ м³/ч.

Как видно, перепад температур резко уменьшился до величины 1 °С на 20-е сутки, а на 120-е сутки достиг своего наименьшего значения $\Delta t = 0,3$ °С. Это можно объяснить двумя причинами. Во-первых, температура грунта, находящегося вблизи обсадной трубы, повысилась по сравнению с первоначальной и тепловой поток от теплоносителя к грунту уменьшился. Во-вторых, минимально достигнутая разность температур $\Delta t = 0,3$ °С свидетельствует об окончательной зарядке теплового аккумулятора. Поэтому, если не отбирать тепло от аккумулятора, то дальнейшая его зарядка нецелесообразна ввиду неэффективности.

Автоматическая система регулирования подачи теплоносителя от гелиосистемы при достижении $\Delta t_{АК} = 0,3$ °С переключает подачу теплоносителя из грунтового аккумулятора на другие источники теплоснабжения: бассейн, горячая вода, теплый пол и т.д., тем самым, давая возможность аккумулятору разрядиться. При этом следует учитывать, что теплоступление (зарядка) в грунтовый аккумулятор зависит от теплотребления (разрядки) в системе дома и от погодных условий.

Выводы

В результате экспериментальных исследо-

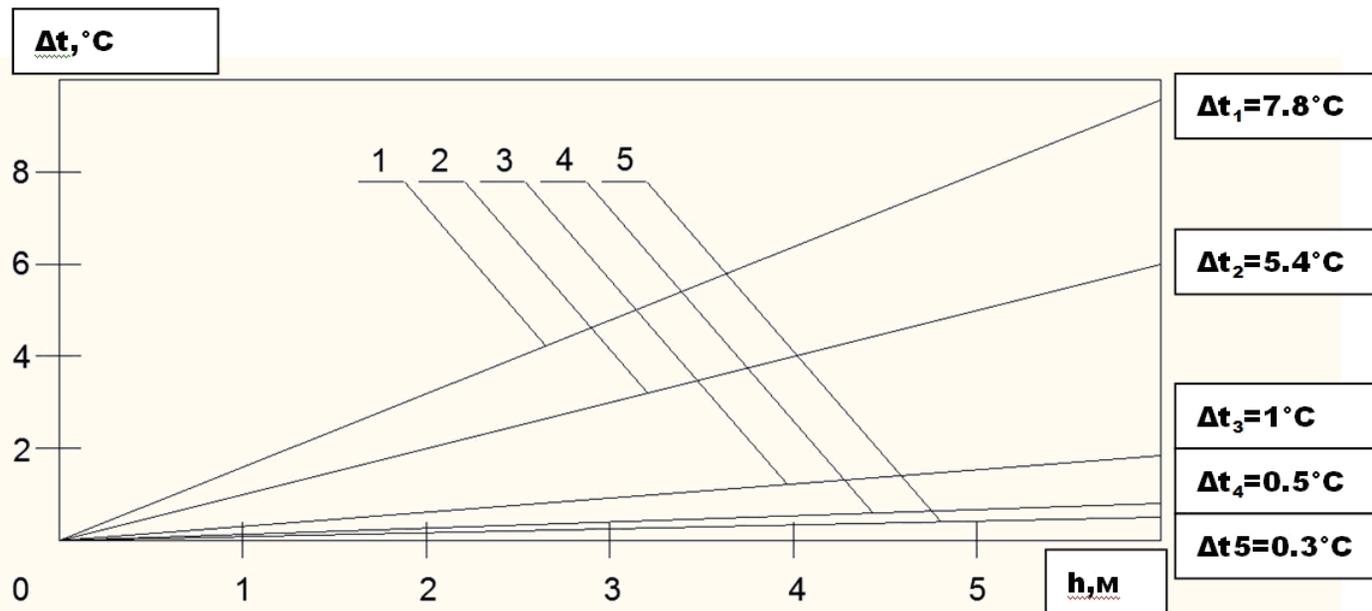


Рис. 4. Зависимость распределения перепада температур по глубине скважин: 1 – перепад температур 1 сутки; 2 – 5 суток; 3 – 20 суток; 4 – 40 суток; 5 – 120 суток.

ваний на натурной теплоснабжающей установке с сезонным аккумулированием тепла определены рабочий диапазон расхода теплоносителя в контуре грунтового аккумулятора и циклы зарядки – разрядки аккумулятора. Установлено, что максимальный температурный перепад по высоте обсадной трубы в начальный период зарядки составляет 7,8 °С, который затем с течением времени уменьшается и достигает минимального значения 0,3 °С через 120 суток (кривая 5, рис. 4). Обнаружено влияние трехходового клапана на совместную работу двух контуров: гелиосистемы и грунтового аккумулятора. Определенное положение этого клапана приводит к различным расходам теплоносителя в двух контурах, а это оказывает влияние на расходные характеристики контура грунто-

вого аккумулятора. Подробное исследование этих процессов будет рассмотрено и проанализировано в ближайшем будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Басок Б.И., Авраменко А.А., Рыжков С.С., Лунина А.А. Динамика теплообмена жидкости в грунтовом прямолинейном одиночном трубном элементе (теплообменнике) // Пром. теплотехника.– 2009. – Т.31, №1. – С. 62-67.
2. Накорчевский А.И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома // Пром. теплотехника.– 2009. – Т.31, №1. – С. 67-73.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М. Энергоиздат, 1981. – 417 с.

Получено 15.02.2010 г.