

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА КОЖУХОТРУБНОГО ТИПА

Антипов Е. А.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Разработана конструкция и проведены экспериментальные исследование работы аккумулятора теплоты. Изучены и проанализированы полученные значения динамики температурных полей и распределения тепловых потоков в тепловом аккумуляторе, а также накопления и расходов тепловой энергии в исследуемом объекте.

Постановка проблемы. Аккумуляция теплоты целесообразна и может широко применяться в тех случаях, когда есть избыток тепловой энергии, которую посредством ее аккумуляции можно использовать в другие периоды времени, для которых потребность в ней растет. Аккумуляция теплоты в тепловых аккумуляторах (ТА) может осуществляться либо за счет только теплоемкости теплоносителя, либо дополнительного использования эффекта фазового перехода теплоаккумулирующего материала (ТАМа) из твердого состояния в жидкое [1, 2].

Эффективность таких аккумуляторов в значительной степени зависит от степени использования потенциала накопления и отдачи энергии за полный цикл работы соответствующего устройства. Это ставит перед исследователями задачу выбора оптимальных параметров конструкции ТА, куда входят объем, масса теплоаккумулирующего материала и т. п.

Цель статьи – экспериментальное исследование основных режимов работы тепловых аккумуляторов фазового перехода на основе теплоаккумулирующих материалов органического происхождения.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследуемый аккумулятор теплоты (рис. 1), представляет собой изготовленную из стали, заполненную твердым теплоаккумулирующим материалом фазового перехода, горизонтально ориентированную емкость (корпус) в форме параллелепипеда. В качестве цилиндрического источника теплоты использовано трубный пучок, состоящий из 8-ми стальных труб ($d_{\text{вн}} = 21,3 \times 2,8$ мм) расположенных по центру емкости в равномерном шахматном порядке параллельно ко дну корпуса модуля. Система запорной арматуры позволяет комбинировать различные варианты размещения нагревательных труб: шахматное или коридорное их расположение в аккумуляторе теплоты.

В качестве рабочего материала был выбран парафин марки Т-3 (очищенный технический). Масса парафина в рабочей камере – $M_{\text{ТАМ}} = 26$ кг 100 г. Теплофизические свойства аккумулирующего материала определялись по результатам специальных лабораторных исследований, а теплоносителя (воды) – на основе известных табличных значений.

Контроль температуры непосредственно в самом аккумуляторе теплоты производился с помощью выносных датчиков температуры Dallas DS18B20, что позволило отследить динамику температурных полей в объеме аккумулирующего материала, а не их абсолютные значения.

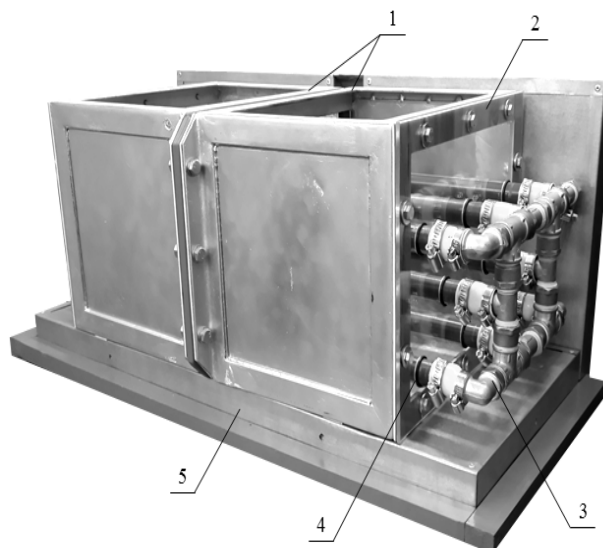


Рисунок 1 – Внешний вид опытного модуля:

- 1 – разборный корпус;
- 2 – торцевая крышка;
- 3 – распределительный коллектор;
- 4 – трубный пучок;
- 5 – теплоизоляция

Важно было максимально точно воспроизвести условия, в которых будет "работать" ТАМ, в нашем случае парафин марки Т-3 с температурой плавления 55 ± 2 °С, в условиях теплового аккумулятора. Для этого корпус ТА снаружи был закрыт теплоизоляционными панелями, в качестве теплоизоляции применен пенополистирол, толщиной 50 мм.

Из комплекса проведенных экспериментальных исследований были выделены три этапа, которые характеризуют все основные режимы работы реальных аккумуляторов теплоты фазового перехода:

- постепенного повышения температуры теплоносителя;

- работа в условиях предельных и мало переменных температур воды;

- переход от аккумулирования теплоты к "разряду" аккумулятора.

Исследования, относящиеся к первой серии, осуществлялись при одновременном включении насоса и нагревателя воды, меняя при этом температуру теплоносителя (воды) в пределах $55 \div 80$ °С. Вторая серия экспериментов проводилась с предварительным нагревом воды в баке до температуры 80 °С, и последующей ее прокачкой через модуль.

Третья серия отличалась от второй почти синхронным, в заданный момент времени, отключением ТЭНа и переключением насоса на циркуляцию по контуру опытный модуль – система отопления "теплый пол" (рис. 2), что характерно для работы аппарата в режиме "разряд". При этом, температура воды в системе поддерживалась в пределах $45 \div 35$ °С.

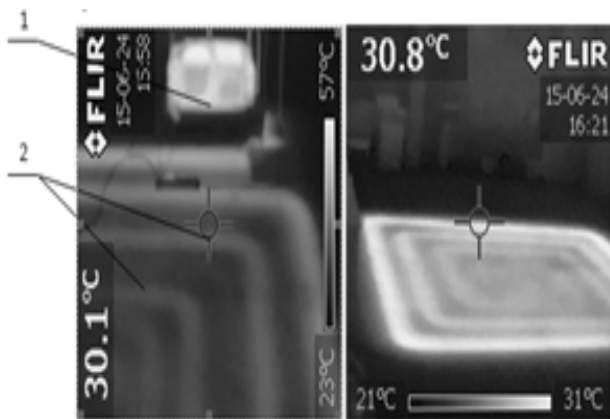
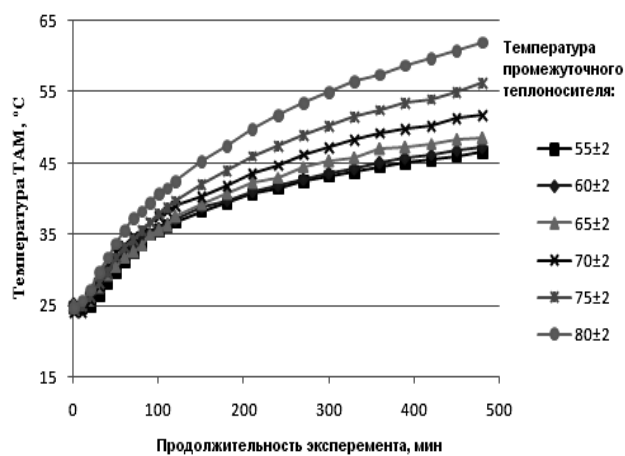


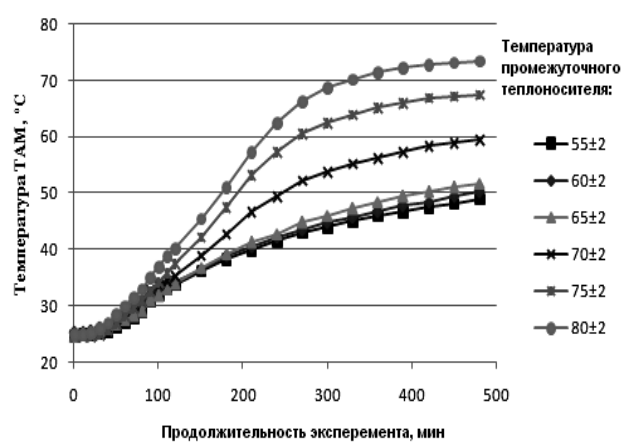
Рисунок 2 – Тепловизионная съемка работы аккумулятора теплоты на "разряд":

- 1 – опытный модуль;
- 2 – макет системы отопления "теплый пол"

Основные материалы исследования. Анализируя полученные данные первых двух этапов исследований установлено, что в нижней части рабочего объема, расположенного под тепловым источником, возникают "застойные зоны", температура которых на 12 % ниже, чем в области интенсивного плавления материала (рис. 3), что подтвердило результаты, полученные в работе [3]. Большое количество выделенного тепла при этом расходуется на перегрев расплавленного объема в верхней части аккумулятора теплоты. Продолжительность такого "перегрева" составляет не менее 25 % от общего времени работы аккумулятора теплоты в режиме "заряд". Вместе с тем подтверждено, что для уменьшения объема "застойных зон", размещенные первого ряда нагревательных труб, от дна и стенок корпуса аккумулятора, необходимо выполнять на расстоянии, которое определено в работе [4].



а)



б)

Рисунок 3 – Динамика распространения температур в объеме аккумулирующего материала, при различных значениях температур теплоносителя на входе, в:

- а – "застойных зонах";
- б – расплаве материала

Последняя серия исследований, в частности анализ распределения температурных полей в зависимости от температуры теплоносителя в системе отопления и времени работы аккумулятора в режиме "разряд", позволил выявить следующую закономерность: чем ниже температура воды, тем хуже отбирается аккумулированная теплота, несмотря на то, что температурный напор при этом растет (рис. 4). Так, при подаче воды с температурой 45 °С толщина кристаллизации через 180 мин составляет 13 мм, зато при температуре воды 35 °С - 20 мм.

Установлено, что при низких значениях температуры теплоносителя начинают кристаллизоваться прилегающие к источнику теплоты слои материала. Наблюдается как снижение теплового потока, так и падение коэффициента теплоотдачи при разрядке теплоаккумулятора.

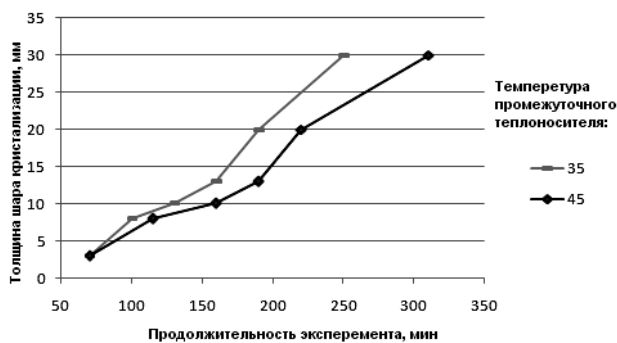


Рисунок 4 – Динамика образования слоя кристаллизованного материала на теплообменной поверхности в зависимости от температуры воды

При этом, температура глубинных слоев на 27 % выше от температуры слоя закристаллизованного материала. Кроме того, при полном отверждении материала, между ним и теплообменной поверхностью, наблюдается образование воздушного зазора, что уменьшает эффективность использования интенсификаторов поверхности теплообмена в виде армированных конструкций и объясняет невысокие разрядные характеристики кожухотрубного теплоаккумулятора известной конструкции.

Выводы

1. Проведено экспериментальное исследование процессов теплопереноса в тепловом аккумуляторе при фазовых превращениях аккумулирующего материала, результаты которых дают возможность определить локальные и средние температуры в различных областях аккумулятора.

2. Сравнение результатов исследований первой и второй серий показало, что работа аккумулятора теплоты в условиях предварительного подогрева теплоносителя привела к лучшему прогреву материала нижних слоев на 9 %, и на 4 % улучшило эффективность процесса аккумулирования в целом.

3. Установлено, что в нижней части рабочего объема, расположенного под тепловым источником, возникают "застойные зоны", температура которых на 12 % ниже, чем в области интенсивного плавления материала.

4. Для уменьшения объема "застойных зон" и повышения эффективности работы теплоаккумулятора, размещенные первого ряда нагревательных труб, от дна и стенок его корпуса, необходимо выполнять на определенном расстоянии, превышение которого на 20 % уменьшает коэффициент полезного использования массы аккумулирующего материала на 7 %.

Список использованных источников

1. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
2. Быстров В. П. Теплоаккумуляторы с использованием фазового перехода / В. П. Быстров, А. В. Ливчак / Вопросы экономии теплоэнергетических ресурсов в системах вентиляции и теплоснабжения: Сб. науч. тр. – М.: Изд-во ЦНИИЭПИО, 1984. – С.75–90.
3. Горобец В. Г. Компьютерное моделирование процессов теплопереноса в сезонном аккумуляторе теплоты. / В. Г. Горобец, Е. А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №1(14). – С. 15–20.
4. Антипов Е. А. Исследование процессов тепло- и массопереноса в низкотемпературных аккумуляторах теплоты при фазовых превращениях аккумулирующего материала / Е. А. Антипов // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип. 15. – Т. 2. – С. 131–135.

Анотація

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ КОЖУХОТРУБНОГО ТИПУ

Антипов Е. А.

Розроблено конструкцію та проведено експериментальні дослідження роботи аккумулятора теплоты. Вивчені та проаналізовані отримані значення динаміки температурних полів і розподілу теплових потоків в тепловому аккумуляторі, а також накопичення і витрат теплової енергії в досліджуваному об'єкті.

Abstract

EXPERIMENTAL STUDY OF BASIC MODES OF OPERATION LOW-TEMPERATURE BATTERY LATENT HEAT-CASING TYPE

E. Antipov

The design and experimental researches of battery heat. We studied and analyzed the resulting values of the dynamics of temperature fields and heat flux distribution in the heat accumulator, as well as accumulation and heat consumption in the test object.