

УДК 536.24

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АККУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТЫ ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ АККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА**

**Антипов Е.А. аспирант\***

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

Телефон: (099)-335-11-12

**Аннотация** – разработана конструкция и проведено экспериментальное исследование процессов теплопереноса в аккумуляторе теплоты фазового перехода. 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.

**Ключевые слова:** аккумулятор теплоты, теплоаккумулирующий материал, фазовый переход, зарядка и разрядка аккумулятора.

*Постановка проблемы.* Аккумулятирование теплоты производится с целью ее запасаания в определенные моменты времени, когда имеетсЯ ее переизбыток, и дальнейшего ее использования в другие периоды, когда имеетсЯ ее дефицит. К таким источникам тепловой энергии могут относиться, например, солнечные коллекторы, тепловые насосы (низкопотенциальная тепловая энергия) и другие источники. Аккумулятирование тепловой энергии может проводиться при нагревании какогО-либо материала (воды, твердых материалов) или используя фазовые или химические превращения материала (процессы плавления и кристаллизации, прямые и обратные химические реакции, сопровождающиеся поглощением и выделением теплоты). Аккумуляторы теплоты (АТ) с фазовыми или химическими превращениями позволяют сконцентрировать большое количество энергии в сравнительно небольших объемах аккумулятирующего материала (АМ). В качестве аккумулятирующих материалов при фазовых превращениях могут быть использованы, например, соли Na или K, а также природные материалы (парафин, глауберова соль), обладающие низкой температурой плавления и кристаллизации [1, 2].

---

© Антипов Е.А.

\* Научный руководитель – Горобец В.Г., д.т.н., професор

*Анализ последних исследований.* Исследования плавления теплоаккумулирующих материалов около тепловых источников, проведенные рядом автором экспериментальными [3, 4] или численными методами [5] позволили выявить определяющее влияние свободной конвекции в процессах переноса теплоты при фазовом переходе вещества из твердого в жидкое состояние. Поэтому, представляет интерес изучение тепловой эффективности и геометрии размещения теплообменных поверхностей в объеме аккумулирующих материалов таких аккумуляторов.

*Формулирование целей (постановка задания).* Эффективность тепловых аккумуляторов (с фазовыми или химическими превращениями АМ) 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 их конструкции, куда входят объем, масса теплоаккумулирующего материала и т.п. Целью настоящей работы является – экспериментальное исследование процессов фазового перехода в теплоаккумулирующих материалах органического происхождения и их влияние на оптимальные параметры и геометрию размещения теплообменных поверхностей в таких теплоаккумуляторах.

*Основные материалы исследования (основная часть).* В настоящей работе исследованы процессы переноса тепла в замкнутой емкости при плавлении АМа вокруг горизонтального цилиндрического теплового источника (труб) с гладкой поверхностью. При проведении экспериментов геометрия размещения теплообменных труб с наружным диаметром 21,3 мм, внутри объема теплоаккумулирующего материала, выполнена на осевом расстоянии 40 мм от стенок и дна корпуса теплоаккумулятора.

За 8-мь часов работы аккумулятора тепла на основе парафина (период наименьшей стоимости электроэнергии при зональном учете энергопотребления), АМ прогрелся равномерно по экспоненте. Однако на внутренней стороне стенок и дне теплового аккумулятора остался шар непрогретого аккумулирующего материала толщиной 1,0 и 2,5 см соответственно. Изложенное подтверждается данными измерений температур в контрольных точках в объеме теплоаккумулирующего материала аккумулятора теплоты фазового перехода: на расстоянии 50 мм над и под нагревной трубой. Результаты представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Как видим, процесс прогрева, с последующим плавлением, теплоаккумулирующего материала над тепловым источником происходит существенно (в 1,5 раза) быстрее, чем под ним, что в последствии влияет и на конечную температуру нагрева, а отсюда, и на неравно-

мерность прогрева верхнего (до 65 °С) и нижнего (до 57 °С) уровней АМ в аккумуляторе теплоты фазового перехода.

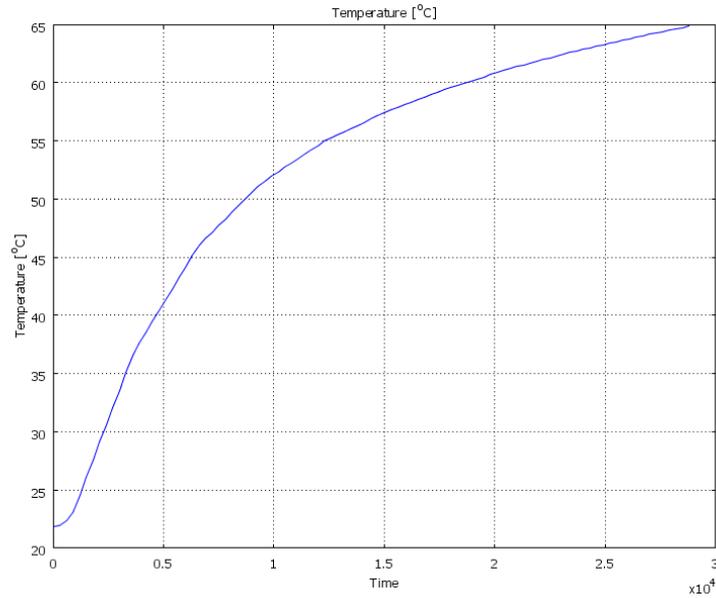


Рис. 1. Динамика роста температур над нагревной трубой.

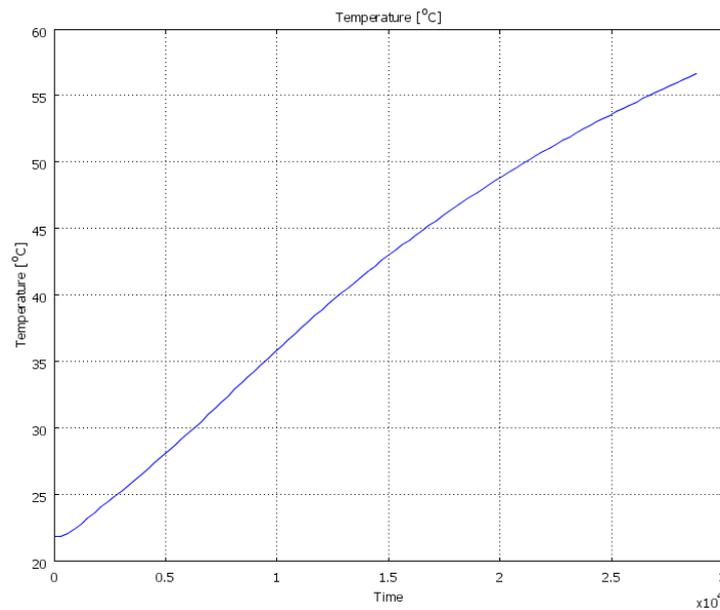


Рис. 2. Динамика роста температур под нагревной трубой.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили результаты ранее выполненного численного моделирования [6], что дало возможность получить значения конечного радиуса распространения теплоты в массиве теплоаккумулирующего материала фазового перехода в зависимости от площади теплообменной поверхности, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Граничные расстояния размещения теплообменной поверхности относительно внутренних стенок корпуса аккумулятора теплоты

| Параметр   |     | Номинальный диаметр (дюймы) |       |       |       |       |       |
|--|-----|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  |     | ½                           | ¾     | 1     | 1 ¼   | 1 ½   | 2     |
| Условный проход, мм  |     | 13                          | 19    | 25    | 32    | 38    | 50    |
| Внешний диаметр теплообменных труб, мм   |     | 21,25                       | 26,75 | 33,50 | 42,25 | 48,00 | 60,00 |
| Расстояние от теплообменных труб до дна и стенок корпуса теплоаккумулятора, мм | min | 29,0                        | 37,0  | 46,0  | 58,0  | 66,0  | 83,0  |
|  | max | 31,0                        | 39,0  | 49,0  | 61,0  | 70,0  | 87,0  |

*Выводы.* В результате проведенного экспериментального исследования процессов плавления и затвердевания теплоаккумулирующего материала при нагревании и охлаждении его пучками труб определены основные характеристики исследуемых процессов (распределение температурных полей, профили границ плавления и затвердевания, распределение поля скоростей в расплавленном материале и другие их характеристики).

Кроме того, в результате численного моделирования получена динамическая картина процесса образования и временно-пространственного распределения конвективных тепловых потоков. Направление распределения последних учтено при определении размеров теплообменной поверхности и выборе оптимальной геометрии размещения пучков труб в аккумуляторе теплоты, для которой процессы «зарядки» и «разрядки» аккумулятора будут протекать за минимальные промежутки времени.

*Список использованных источников.*

1. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли; пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272с.

2. Быстров В. П. Теплоаккумуляторы с использованием фазового перехода / В. П. Быстров, А. В. Ливчак / Вопросы экономии тепло-энергетических ресурсов в системах вентиляции и теплоснабжения: Сб. науч. тр. – М.: Изд-во ЦНИИЭПИО, 1984. – С.75–90.

3. Спэрроу, Шмидт, Рэмси. Экспериментальное исследование роли естественной конвекции при расплавлении твердых веществ // Теплопередача, 1978. – №1. – С.10-16.

4. Соуза-Мендес, Пиньо-Бразил мл. Теплообмен при плавлении в окрестности изотермического вертикального цилиндра // Теплопередача, 1988. – №3.

5. Хо, Висканта. Теплопередача при плавлении от изотермической вертикальной стенки // Теплопередача. 1984. – №1. – С.9-18.

6. Горобець В.Г. Компьютерное моделирование процессов тепло-массопереноса в сезонном аккумуляторе теплоты / В.Г. Горобець, Е.А. Антипов // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – №1(14). – С. 15-19.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО- І МАСОПЕРЕНОСУ В  
НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ  
ПРИ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕННЯХ АКУМУЛЮЮЧОГО  
МАТЕРІАЛУ**

Антипов Є.О.

*Анотація* – розроблена конструкція та проведено експериментальне дослідження процесів теплопереносу в акумуляторі теплоти фазового переходу. Вивчені та проаналізовані отримані значення динаміки температурних полів і розподілення теплових потоків в тепловому акумуляторі, а також накопичення та витрат теплової енергії у досліджуваному об'єкті.

**INVESTIGATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN LOW-  
TEMPERATURE HEAT ACCUMULATOR WITH PHASE  
TRANSFORMATIONS OF ACCUMULATING MATERIAL**

I. Antypov

*Summary*

Design is developed and experimental studies of the heat accumulator. As a result of experimental studies the temperature fields are got in the system a pipe bunch and heat-accumulating material. The dynamics of accumulation process and charges of thermal energy in the investigated object is studied.