

**РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ
ТЕПЛООБМІНУ В АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ НА ОСНОВІ
АКУМУЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ**

Є. О. Антипов, асистент

e-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Анотація. *Розглядається можливість підвищення розрядних характеристик акумуляторів теплоти на основі матеріалів фазового переходу. Проаналізовано отримані значення динаміки температурних полів в тепловому акумуляторі, а також отримано ефективні параметри кроку укладки нагрівального кабелю в корпусі досліджуваного об'єкта.*

Ключові слова: *акумулятор теплоти, теплоакumuлюючий матеріал, фазовий перехід, теплообмінна поверхня*

Інтенсифікація тепловідбору акумульованої теплоти з глибинних шарів ТАМу можлива як при застосуванні так званих армованих конструкцій [1], так і при застосуванні стільникових конструкцій. Авторами робіт [2–4] проведено низку досліджень з інтенсифікації процесів теплообміну шляхом використання розвинених теплообмінних поверхонь, що призвело до підвищення їх ефективності порівняно з гладкою поверхнею.

Однак, враховуючи результати проведених автором експериментальних досліджень процесу кристалізації акумулюючих матеріалів навколо теплообмінної поверхні, можна відзначити, що зазначені заходи з удосконалення конструкції теплообмінної поверхні є більш ефективними лише під час процесу нагрівання (плавлення) ТАМу, що пояснюється так. Аналіз розподілу температурних полів [5] залежно від температури «розряду» акумулятора показав, що збільшення товщини кристалізованого шару такого матеріалу навколо теплообмінної поверхні («приріст» кристалізації вищій при нижчих температурах теплоносія) призводить до зниження інтенсивності відбору акумульованої теплоти з глибинних шарів ТАМу. Особливо це

стосується матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності в твердій фазі, до яких відноситься і парафін. Крім того, при затвердінні такого матеріалу між ним і стінкою конструкції, з якої знімається теплота, з'являється повітряний зазор, що суттєво знижує ефективність «відбору» акумульованої теплоти, а звідси, і загального коефіцієнта корисної дії такого акумулятора.

Мета досліджень – підвищення ефективності розрядних характеристик акумуляторів теплоти на основі акумулюючих матеріалів фазового переходу.

Матеріали та методика досліджень. Використовуючи нетрадиційне рішення, з метою підвищення ефективності розрядних характеристик такого акумулятора пропонується установка внутрішніх (багатоярусних) електричних нагрівальних елементів у середині корпусу акумулятора теплоти поруч з (або під) елементами теплообмінної поверхні. Зазначене дозволить створити шар розплавленого (рідкого) ТАМу, коефіцієнт теплопровідності якого значно більший, ніж у твердому стані [6], а отже інтенсифікувати процес відбору акумульованої теплоти з глибинних шарів такого матеріалу.

Як додаткові багатоярусні нагрівальні елементи використано саморегулюючі електронагрівальні проводи марки Devi-Hotwatt 55 [7], які використовуються для підтримання температури гарячої води в побутових трубопроводах на рівні 55 °С, що не лише виключає потребу в постійній циркуляції гарячої води «зарядним» контуром, а й розширює технологічні можливості використання таких акумуляційних апаратів у системах з комбінованим використанням джерел енергії.

Проведений аналіз патентно-ліцензійної документації виявив відсутність інформації по новим технічним способам і конструкціям теплообмінної поверхні подібного характеру, що дає право розглядати запропоноване як нове технічне рішення та напрямок подальших досліджень з метою розуміння фізичного механізму процесів плавлення / кристалізації в акумуляційних апаратах з внутрішніми нагрівальними елементами, а також оцінку їх можливого впливу на ефективність зазначених процесів.

Результати досліджень. При розрахунку ефективної геометрії розміщення нагрівальних елементів в об'ємі ТАМу задаємося такими геометричними параметрами теплообмінної поверхні:

➤ відстань між:

- нагрівальними трубами в ряду – $b_2 = 0,11$ м;

- рядами – $h_8 = 0,055$ м;

➤ зовнішній діаметр труб у пучку – $d_{mp.з} = 0,0213$ м;

➤ відстань від:

- стінок корпусу акумулятора до осі бічних труб – $r_2 = 0,04$ м;

- дна до осі першого (нижнього) ряду труб – $r_8 = 0,04$ м.

Під час проведення подальшого дослідження впливу додаткових внутрішніх нагрівальних елементів на процеси теплообміну числовим методом спочатку звернемо увагу на результати моделювання акумулятора теплоти фазового переходу аналогічної конструкції, але без нагрівальних елементів під час його роботи в режимі «розрядки», які представлені на рис. 1.

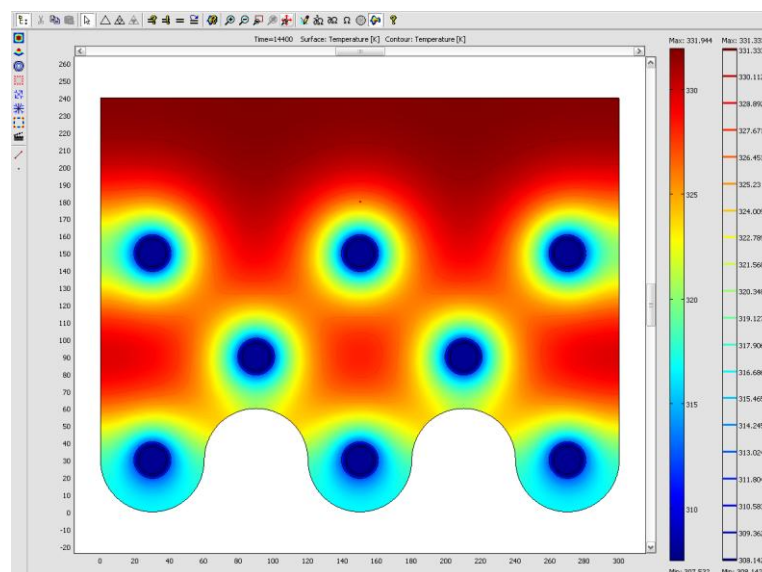


Рис. 1. Профіль кристалізації ТАМу в акумуляторі теплоти без внутрішніх нагрівальних елементів

З його аналізу видно, що при зміні режиму роботи акумулятора теплоти спостерігається суттєва зміна розподілу температур в масиві акумулюючого матеріалу, здебільшого навколо теплообмінної поверхні (рис. 2) та нижніх

шарах ТАМу, які розміщені біля дна корпусу моделі. Далі відбувається поступове охолодження матеріалу. Температура близьких до теплообмінних труб шарів ТАМу суттєво змінюється у зв'язку з відтоком теплоти до теплоносія, температура якого є суттєво нижчою від температури акумулюючого матеріалу.

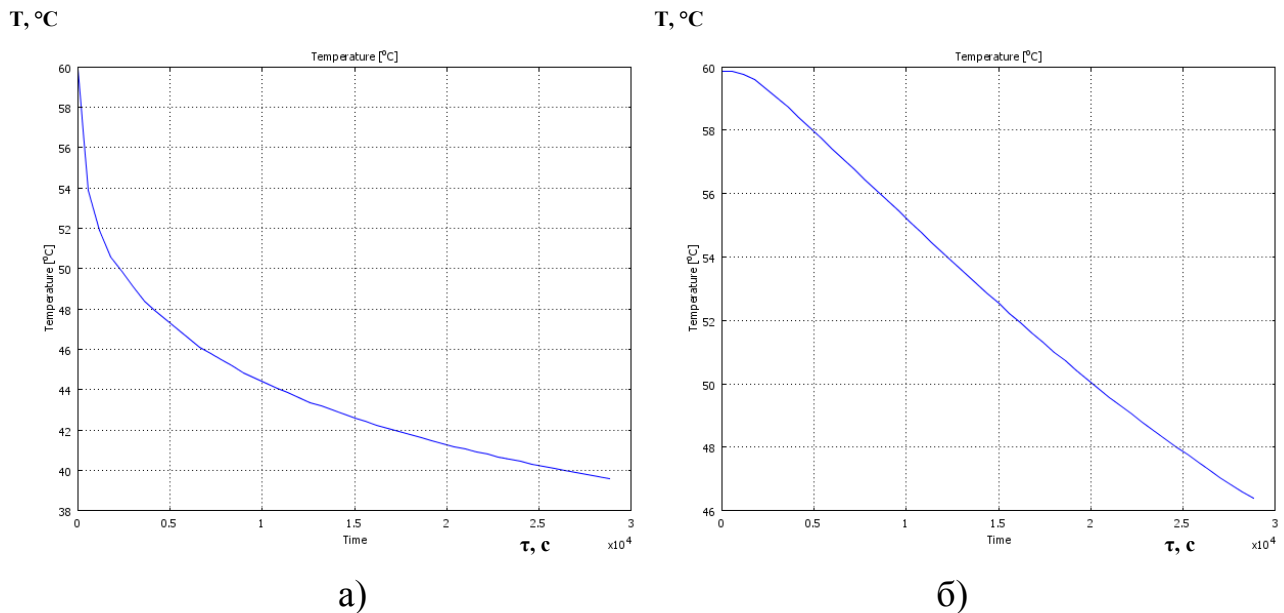


Рис. 2. Динаміка зміни температур під час кристалізації ТАМу в акумуляторі теплоти без додаткових нагрівальних елементів, на відстані:
а – 5 мм від теплообмінної поверхні; б – 25 мм

Відбувається поступова кристалізація рідкого матеріалу навколо теплообмінної поверхні, спостерігається різке падіння градієнту температур (рис. 3). Відбір теплоти з глибинних шарів ТАМу тепер залежить як від теплопровідності акумулюючого матеріалу, так і від величини термічного опору δ_{me}/λ_{me} між джерелом та рідкою / твердою фазами (δ_{me} – товщина шару кристалізації, λ_{me} – коефіцієнт теплопровідності твердого акумулюючого матеріалу). Як наслідок, проходить певна теплова ізоляція внутрішніх шарів ТАМу від джерела теплоти. У результаті, температура кристалізованого шару акумулюючого матеріалу і температура його глибинних шарів не однакові: «дельта» вища при нижчих температурах вхідного теплоносія. З іншого боку,

температура близьких до джерела теплоти шарів такого матеріалу суттєво змінюється у зв'язку з відтоком теплоти до межі кристалізації, яка постійно переміщується.

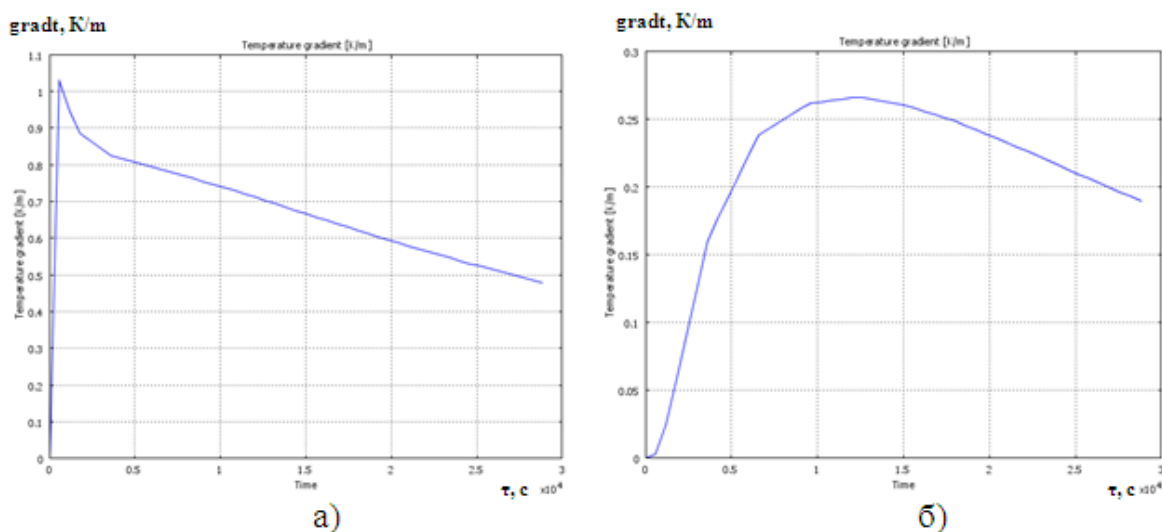
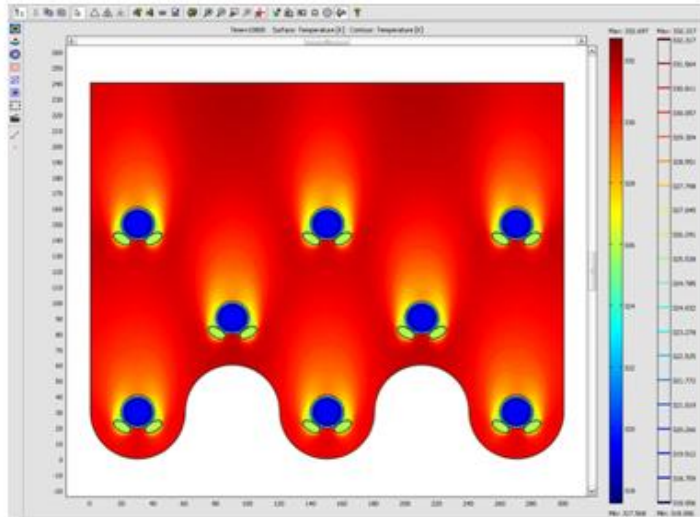


Рис. 3. Зміна градієнта температур в об'ємі ТАМ акумулятора теплоти без додаткових нагрівальних елементів, на відстані:

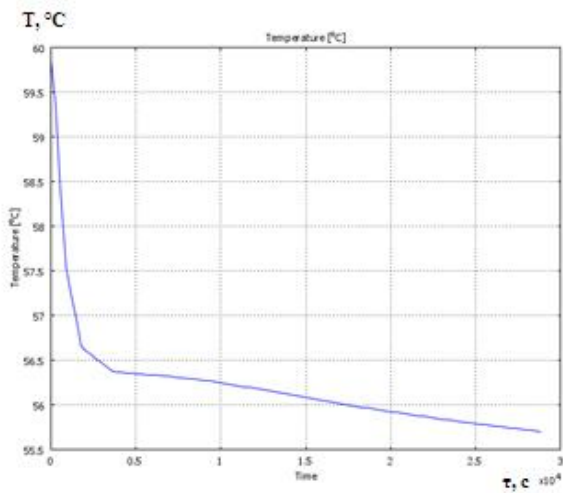
а – 5 мм від теплообмінної поверхні; б – 25 мм

Проведено додаткове дослідження для двох нагрівальних елементів, розміщених дотичними до нижньої поверхні стінки нагрівальних труб, але рознесеними по кутам основи умовного рівностороннього трикутника. Результати такого модельного дослідження представлені на рис. 4.

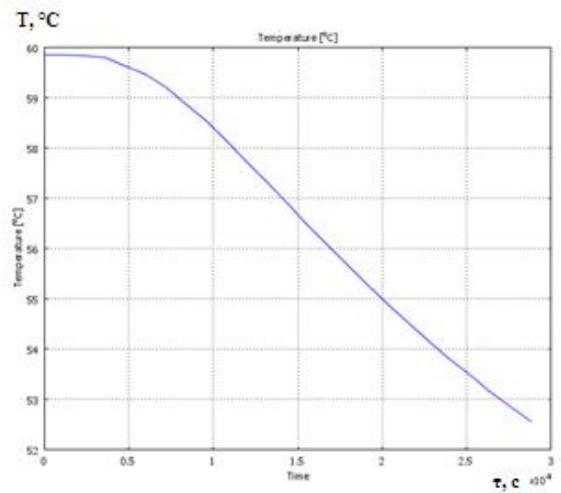
З його аналізу випливає, що установка двох (парних) нагрівальних елементів сприяє зниженню температури в шарі ТАМу навколотрубної зони в початковий період та її подальшої стабілізації на рівні 55 °С, у той час як в акумуляторі теплоти з одиночним нагрівальним елементом через один і той же проміжок часу (120 хв) спостерігається переважно зниження температури ТАМу навколо теплообмінної поверхні. Збереження, таким чином, рідкого шару ТАМу навколо теплообмінних труб у деякій мірі сприяє покращенню процесу відбору акумульованої теплоти з його глибинних шарів, оскільки теплопровідність рідкого акумулюючого матеріалу значно вища, ніж у твердого ТАМу фазового переходу [6].



a)



б)



в)

Рис. 4. Динаміка кристалізації (а) та зміни температур (б, в) в об'ємі ТАМу акумулятора теплоти з додатковими парними нагрівальними елементами на відстані:

б – 5 мм від теплообмінної поверхні; в – 25 мм

Для підтвердження ефективності зазначеного на рис. 5 представлено результати порівняння температур в глибинних шарах акумулюючого матеріалу в акумуляторі теплоти без та відповідно з додатковими внутрішніми нагрівальними елементами.

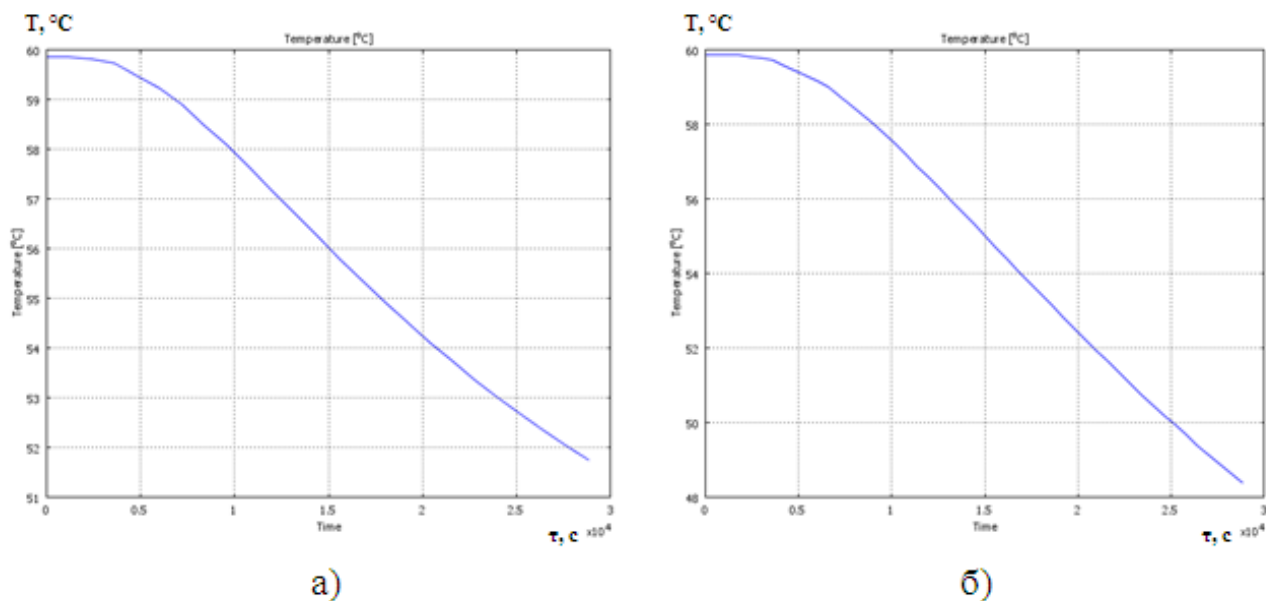


Рис. 5. Зміна температур в центральній частині об'єму ТАМу під час його кристалізації в акумуляторі теплоти:

а – без додаткових нагрівальних елементів; б – з парними багатоярусними нагрівачами

Як бачимо, крива на рис. 5,б має більш виражений спадаючий характер, причому спостерігається зменшення температури внутрішнього об'єму ТАМу на 3–4 °С порівняно з рис. 5,а. Спостерігається охолодження внутрішнього масиву акумулюючого матеріалу з одночасним підвищенням температури ближчих до теплообмінної поверхні (на відстані 5 мм від неї) та умовних «середніх» (25 мм) шарів ТАМу (див. рис. 4), яке в кінцевому результаті порівняно з конструкцією акумулятора теплоти без додаткових нагрівальних елементів (див. рис. 2) склало відповідно +15–16 °С та +6–7 °С. Таким чином, відбувається інтенсивніший процес відтоку акумульованої теплоти від внутрішніх шарів акумулюючого матеріалу в сторону поверхні теплообміну, ефективність відбору теплоти з глибинних шарів при цьому збільшилася на 8–10 %. Крім того, час ефективної роботи такого акумулятора в режимі «розряд» зріс на 86 %.

У випадку, коли необхідна довжина кабелю перевищує довжину труби, приймається схема укладки спіраллю. Геометричні параметри кроку намотки кабелю наведені в табл. 2.

2. Рекомендований крок укладки кабелю

Зовнішній діаметр труби, мм	Кількість метрів кабелю на погонний метр труби, м				
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	Крок установки кабелю, см				
28	21	15	12	10	9
34	25	17	14	11	10
42	31	21	17	14	13
48	35	24	19	16	14
60	43	30	24	20	18
76	52	36	29	24	21
89	63	43	35	29	26

Висновки

1. З метою підвищення ефективності розрядних характеристик акумулятора теплоти на основі матеріалів фазового переходу знайдено нове технічне рішення шляхом установки внутрішніх (багаторусних) нагрівальних елементів у середині корпусу такого акумулятора.

2. Ефективність відбору теплоти з глибинних шарів в акумуляторі теплоти вдосконаленої конструкції з парними нагрівальними елементами збільшилась на 8–10 %. При цьому, час ефективної роботи такого акумулятора в режимі «розряд» зріс на 86 %.

3. У результаті проведених досліджень визначені оптимальні відстані розміщення електричних нагрівальних елементів всередині корпусу акумулятора теплоти, а також їх габаритні характеристики.

Список літератури

1. Пат. 2436020 РФ, МПК F24H 7/00 (2006.01). Аккумулятор тепла / Наумов А. Л., Серов С. Ф., Ефремов В. В., Дегтярев Н. С.; заявитель и владелец: Общество с ограниченной ответственностью «МИКТЕРМ». – № 2010128229/06; заявл. 08.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.
2. Горобец В.Г. Теплообмен при обтекании неизотермических развитых поверхностей / В.Г. Горобец. – К.: Компринт, 2011. – 296 с.
3. Betzel T. Experimental investigation of heat transfer during melting around a horizontal tube with and without axial fins / T. Betzel, H. Beer // Int. Comm. HeatMassTransfer. – 1986. – Vol.13. – No.6. – P. 39–649.
4. Кальхори. Исследование теплоотдачи от вертикального ребренного источника, заделанного в твердое вещество, испытывающее фазовый переход / Кальхори, Рамадьяни // Теплопередача. – 1985. – №1. – С. 42–50.
5. Антипов Є.О. Експериментальне дослідження ефективності нової конструкції акумулятора теплоти фазового переходу. / Є.О. Антипов/ / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 253–257.
6. Таблицы физических величин: справочник / под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976.– 1006 с.
7. Саморегулирующиеся нагревательные кабели Devi-Hotwatt 55 [Электронный ресурс] – Режим доступа:http://www.devi.com.ua/sam_reg.html.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В АККУМУЛЯТОРЕ ТЕПЛОТЫ НА ОСНОВЕ АККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Е. А. Антипов

Аннотация. Рассматривается возможность повышения разрядных характеристик аккумуляторов теплоты на основе аккумулирующих материалов фазового перехода. Проанализированы полученные значения

динамики температурных полей в тепловом аккумуляторе, а также получены эффективные параметры шага укладки нагревательного кабеля в корпусе исследуемого объекта.

Ключевые слова: *аккумулятор теплоты, теплоаккумулирующий материал, фазовый переход, теплообменная поверхность*

**DEVELOPMENT TOOLS FOR THE INTENSIFICATION OF HEAT
TRANSFER IN HEAT ACCUMULATORS BASED MATERIALS
ACCUMULATING PHASE TRANSITION**

I. Antypov

Annotation. *The possibility of increasing heat discharge characteristics of the heat accumulators on the basis of accumulating the phase transition materials. After analyzing the dynamics of the value of temperature fields in the heat accumulator, as well as received the effective settings step of laying a heating cable in the case of the object.*

Key words: *heat accumulator, heat-accumulating material, phase transformations, heat exchange surface*