

УДК 536.584.6

*Саттаров С.А.*

*Доцент кафедры Джизакского политехнического института*

**ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС В НЕЛИНЕЙНЫХ  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

*Аннотация:* В работе рассчитано изменение температуры тепловой системы содержащей материалы с фазовым переходом (PCM, phase change materials) при различных режимах подачи тепла. Проведен анализ изменения с учетом теплоемкости основного и дополнительного теплоносителя и скрытой теплоты фазового перехода. Сделана оценка температурной зависимости для гелиосистем с учетом суточного изменения угла наклона солнца. Приведены выводы использования результатов.

*Ключевые слова:* PCM материалы, энтальпия, скрытая теплота плавления, температура фазового перехода.

*Sattarov S.A.*

*Associate Professor of the Department of Jizzakh Polytechnic Institute*

**THERMAL BALANCE IN NONLINEAR THERMODYNAMIC  
SYSTEMS**

*Abstract:* The paper calculates the temperature change of a thermal system containing phase change materials (PCM) under different heat supply conditions. The analysis of the change is carried out taking into account the heat capacity of the main and additional heat carrier and the latent heat of the phase transition. The temperature dependence is estimated for solar systems taking into account the daily change in the angle of inclination of the sun. Conclusions on the use of the results are presented.

*Keywords:* PCM materials, Enthalpy, latent heat of fusion, phase transition temperature.

## 1. Введение

Вещества, поглощающие и выделяющие тепловую энергию соответственно в процессе плавления и затвердевания в настоящее время все шире применяются на практике [1-4]. Примерами могут служить применения материалов с изменяемой фазой (**PCM- phase change materials**) в качестве тепловых батарей в различного рода гелиосистемах.

По техническим и экологическим соображениям данные материалы должны обладать следующими свойствами:

1. Скрытая теплота плавления должна составлять не менее 300 КДж /кг,
2. Регулируемая температура фазового перехода между от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$  (узкий пик цикла «Плавление-затвердевание» с шириной в не более 5 гр.)
3. Стабильность в течении более тысячи термических циклов.
4. Долговечный и нетоксичный.

При расчетах термодинамического равновесия в системах содержащих РСМ следует учитывать точку фазового перехода, ширину перехода, объем скрытой теплоты и естественно сложный вид теплопередачи и тепловых потерь. Таким образом, данная система становится нелинейной. Нелинейные термодинамические системы с фазовым переходом недостаточно исследованы на предмет расчета теплового баланса с разной скоростью подачи тепла. Между тем, такая термодинамическая задача возникает в гелиосистемах (солнечные водонагреватели с тепловыми батареями).

## 2. Расчеты изменения температуры с нелинейными системами.

Скорость подачи тепла в систему может быть разной. В любом случае при неизменности параметров теплопередачи переданное количество тепла входит в уравнение теплового баланса:

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

где  $Q$  — переданное количество тепла,  $m$  — масса теплоносителя,  $c$  — удельная теплоемкость теплоносителя, а  $\Delta T$  — изменение температуры. Полное количество теплоты переданное за время  $t$  будет равно:

$$Q = \int_0^t q(t)dt \quad (2)$$

где  $q(t)$ - скорость подачи теплоты. В общем случае динамическое уравнение будет выглядеть так:

$$\int_0^t q(t)dt = mc\Delta T(t) \quad (3)$$

### 2.1 Постоянная скорость подачи тепла

При постоянной скорости подачи тепла  $A, q(t) = const$  температурная зависимость  $\Delta T(t)$  представляет собой линейную функцию  $\Delta T(t) = \frac{A}{mc}t$ . При внедрении в основной теплоноситель некоторую массу вещества  $m_{pcm}$  с изменяемой фазой внутри температурного интервала с точкой перехода  $T_{пер}$  с шириной  $\Delta T_{пер}$  возникает поглощение(выделение) тепла равной скрытой теплоте плавления –энтальпии. На температурной кривой это выглядит как плоское плато на ординате  $T_{пер}$  с шириной равной  $A\Delta t = Nm_{pcm}$ . Данный процесс обратим.

### 2.2 Подача тепла линейно возрастающей функцией

При равномерно возрастающей скорости подачи тепла равной  $q(t) = Vt$  температурная зависимость  $\Delta T(t)$  представляет собой параболическое возрастание разницы температуры от времени  $\Delta T(t) = \frac{B}{mc}t^2$ . Как было показано выше при внедрении в основной теплоноситель некоторую массу вещества  $m_{pcm}$  здесь также возникает плато неизменности температуры при фазовом переходе.

### 2.3 Синусоидальный профиль скорости подачи тепла

В большинстве случаев профили скорости подачи тепла на различных гелиосистемах (плоские водонагреватели, нагреватели с

вакуумными трубками и т.д.) различны. Но во всех этих системах зависимость выработки тепла от угла падения солнца неизбежное. Приток солнечной радиации на горизонтальную поверхность земли, а значит и скорость подачи тепла зависит не только от продолжительности дня, но также и от высоты солнца. Высота солнца меняется в зависимости от широты места, времени года и суток. Это примерно будет выглядеть так [5]:

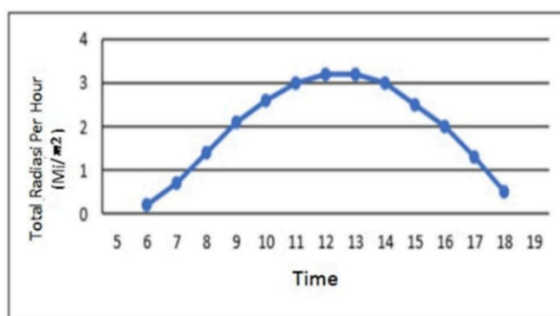


Рис.1 График суточной солнечной радиации (из работы[5])

Так как суточное изменение солнечной радиации сильно подвержено влиянию угла падения к нормали горизонтальной поверхности  $\alpha(t)$  через косинус угла падения, скорость подачи тепла в первую половину дня будет равна  $q(t)=C \cos \alpha(t)$ , где  $C$  – постоянная связанная с геометрией и с конструкцией теплопередачи гелиосистемы. Если предположить, что время восхода в  $6^{00}$  и время наивысшего подъема солнца в  $13^{00}$ , то функция

угла падения будет равна  $\alpha(t)=\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{420}t(\text{мин})$ . Итоговое уравнение для

нахождения температурной зависимости будет следующим:

$$\int_0^t \cos(\alpha(t)) dt = mc\Delta T(t) \quad (4)$$

### Заключение

Таким образом, для теплового баланса в системах, где присутствуют материалы с изменяемой фазой (агрегатным состоянием), следует учитывать, что:

1. Теплоемкость материала вне фазового перехода может играть существенную роль при  $m_{pcm} \geq 0,1m_0$
2. При непрерывной подаче тепла теплопоглощение в точке фазового перехода приводит к временной стабилизации температуры.
3. Функция скорости подачи тепла может сильно повлиять на форму изменения температуры системы в целом.
4. Тщательный учет временной зависимости температуры для систем содержащих нелинейные термодинамические системы, таких как РСМ позволяет повысить эффективность солнечных систем совмещенных с тепловыми батареями.

#### Использованная литература

1. J.A. Mustofoqulov at all. Methods for designing electronic device circuits in the "Proteus" program. Journal of "Economics and Society" No. 4(107) 2023.
2. Muldanov F.R. [Методы построения системы работа глазанализатора на основе видеизображения и их применение](#). Экономика и социум, 2024. № 2-1 (117).Ст. 1181-1184.
3. Eshonqulov A.A., (2024). Mediata'limning bo'lajak muhandislarni kasbga tayyorlashdagi maqsadi. "Экономика и социум" №1(116) 2024.
4. Дрозденский, С., & Муртазин, Э. (2024). СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ: ПУТЬ К БЕСПРОВОДНОЙ ЭНЕРГИИ. *Экономика и социум*, (4-1 (119)), 855-858.
5. Якименко, И., Каршибоев, Ш., & Муртазин, Э. (2024). ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МАШИНОСТРОЕНИИ. *Экономика и социум*, (2-1 (117)), 1578-1581.
6. Irisboyev, F. (2024). THE PLACE OF NANOTECHNOLOGY IN THE PRESENT TIME. *Modern Science and Research*, 3(1), 52-56.
7. Умирзаков Б.Е., Нормурадов М.Т., Раббимов Э.А., Ташатов А.К. // Поверхность. – Москва, 1992. - №2. - С. 47-53.

8. Саттаров, С. А. (2024). КРИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ЯЧЕЙКИ. *Экономика и социум*, (3-1 (118)), 912-916.