

К. т. н. В. Е. ТРОФИМОВ

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: vovic@ukr.net

ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩАЯ ПАНЕЛЬ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ С РАДИОЭЛЕКТРОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Для поддержания микроклимата в помещениях с радиоэлектронным оборудованием, расположенных в труднодоступных регионах, предлагается для минимизации энергозатрат использовать теплоаккумулирующую панель, в которой происходит фазовый переход твердого рабочего вещества в жидкое под воздействием солнечного излучения. Приведены результаты оценки работоспособности такого устройства, характеристики и рекомендации по применению.

Ключевые слова: радиоэлектронное оборудование, микроклимат, аккумулятор солнечной энергии, плавящиеся вещества.

В ряде случаев функционирование радиоэлектронного оборудования (**РЭО**) происходит в помещениях, расположенных в труднодоступных регионах с климатическими условиями, которые характеризуются существенными колебаниями температуры воздуха как в течение суток (от резко отрицательной ночью до резко положительной днем), так и между солнечной и теневой сторонами помещения. Для компенсации этих колебаний используются разнообразные устройства термостатирования и обеспечения микроклимата [1]. Их общим свойством является необходимость потребления электрической энергии, количество которой в указанных условиях достаточно ограничено, и ее расход направлен, прежде всего, на обеспечение работоспособности самого РЭО, а также на поддержание минимального уровня жизнедеятельности обслуживающего персонала. Для таких случаев перспективным решением является использование устройств, не требующих электрической энергии для своего функционирования.

В настоящей статье описана разработанная теплоаккумулирующая панель, принцип действия которой основан на поглощении и сохранении на некоторое время тепловой энергии при фазовом переходе твердого рабочего вещества в жидкое под воздействием, например, солнечного излучения [2, 3], предназначенная для компенсации потерь тепла из помещения с РЭО в ночное время суток.

Теплоаккумулирующая панель (**ТП**) представляет собой оболочку в форме, например, параллелепипеда, выполненную из материала

с высокой теплопроводностью, такого как сплавы алюминия (**рис. 1**). Ее внутренний объем заполнен рабочим веществом с низкой температурой плавления, например парафином. Наружная поверхность оболочки имеет покрытие с коэффициентом поглощения солнечного излучения, близким к единице. Оболочка закрепляется на штативе с колесами (роликами) и поворотным устройством, позволяющем изменять ориентацию оболочки относительно горизонта.

В дневное время суток ТП перемещается обслуживающим персоналом в специально оборудованный солярий с достаточной площадью остекления, где происходит ее нагрев до температуры, превышающей температуру плавления рабочего вещества, и аккумуляция тепловой энергии. Для достижения максимальной эффек-

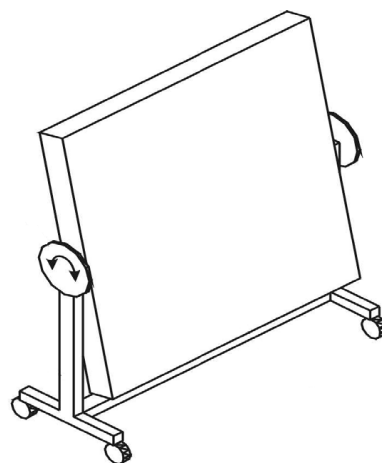


Рис. 1. Общий вид теплоаккумулирующей панели

тивности время нахождения ТП под воздействием солнечного излучения должно быть не меньше времени полного перехода рабочего вещества из твердой фазы в жидкую. В ночное время суток ТП перемещается из солярия в помещение с РЭО, в котором она путем естественной конвекции отдает накопленную тепловую энергию, компенсируя потери тепла в окружающую среду.

Для определения работоспособности такой ТП необходимо определить ее объем и массу, время аккумуляции тепловой (солнечной) энергии, время отдачи тепловой энергии в помещении, а также температуру оболочки при воздействии прямых солнечных лучей. Такая оценка проводилась для нескольких форм-факторов ТП, однако здесь приведем только заслуживающие внимания результаты.

Расчет проведем для ТП, размеры которой соответствуют размерам стандартного радиатора центрального водяного отопления малогабаритного жилого помещения, а именно: длина $L = 1,063$ м; высота $H = 1,063$ м; толщина $B = 0,1$ м. При вычислениях будем пренебрегать толщиной, теплопроводностью и теплоемкостью оболочки.

Рабочее вещество — парафин со следующими теплофизическими свойствами [4]:

- удельная теплота плавления
 $r = 156 \cdot 10^3$ Дж/кг;
- температура плавления $T_{\text{п}} = 40^\circ\text{C}$;
- удельная теплоемкость
 $C_{\text{уд}} = 2680$ Дж/(кг·°C);
- теплопроводность жидкой фазы
 $\lambda_1 = 0,27$ Вт/(м·°C);
- плотность твердой фазы $\rho_2 = 780$ кг/м³.

Определим объем $V_{\text{ТП}}$ и массу $M_{\text{ТП}}$ ТП:

$$V_{\text{ТП}} = L \cdot H \cdot B = 1,063 \cdot 1,063 \cdot 0,1 = 0,113 \text{ м}^3;$$

$$M_{\text{ТП}} = \rho_2 V_{\text{ТП}} = 780 \cdot 0,113 = 88,14 \text{ кг}.$$

Отметим, что масса ТП такова, что один человек без значительных усилий может перемещать ее на штативе с колесиками по полу.

Время аккумуляции ТП тепловой энергии (время «заряда») оценим через время полного плавления рабочего вещества $\tau_{\text{пл}}$, которое в соответствии с [4] вычисляется как

$$\tau_{\text{пл}} = \frac{r \cdot \rho_2}{\lambda_1 (T_0 - T_{\text{п}})} \cdot \frac{7}{24} \cdot R^2, \quad (1)$$

где T_0 — среднеинтегральная температура поверхности оболочки, °C;

R — радиус сферы, эквивалентной по объему ТП, м.

Найдем радиус эквивалентной сферы при полученном значении объема:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3V_{\text{ТП}}}{4\pi}} = 0,34 \text{ м}.$$

В соответствии с формулой (1) при указанных значениях входящих в нее параметров и температуре $T_0 = 41^\circ\text{C}$, превышающей температуру плавления рабочего вещества всего на 1°C , время полного плавления рабочего вещества составит $\tau_{\text{пл}} = 15195 \text{ с} = 4,2 \text{ ч}$, а при $T_0 = 42^\circ\text{C}$ значение $\tau_{\text{пл}}$ будет в два раза меньше.

Таким образом, при среднеинтегральной температуре оболочки $41 - 42^\circ\text{C}$ время «заряда» ТП составляет $2,1 - 4,2 \text{ ч}$.

Время отдачи ТП тепловой энергии (время «разряда») в помещении с РЭО оценим как половину времени полного затвердевания рабочего вещества $\tau_{\text{затв}}$, которое в соответствии с [4] вычисляется как

$$\tau_{\text{затв}} = R_0 \left(C_{\text{п}} \cdot \ln \frac{T_{\text{п}}}{(T_{\text{п}} - T_{\text{н}})} + \frac{M_{\text{ТП}} r}{(T_{\text{п}} - T_{\text{н}})} \right), \quad (2)$$

где R_0 — тепловое сопротивление между ТП и воздухом в помещении с РЭО, °C/Вт;

$C_{\text{п}}$ — полная теплоемкость ТП, Дж/°C;

$T_{\text{н}}$ — среднеинтегральная температура воздуха в помещении с РЭО, °C.

При теплопередаче естественной конвекцией тепловое сопротивление равно

$$R_0 = 1/(\alpha S),$$

где α — коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности оболочки ТП, Вт/(м²·°C);

S — площадь теплоотдающей поверхности ТП, м².

Для оценочных расчетов примем α равным $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ [5].

Пренебрегая теплоотдачей поверхности ТП, обращенной к полу, для S получим

$$S = 0,1 \cdot 1,063 + 2 (0,1 + 1,063) \cdot 1,063 = 2,579 \text{ м}^2.$$

Теперь можем рассчитать тепловое сопротивление и полную теплоемкость ТП без учета теплоемкости оболочки и получим

$$R_0 = 0,039^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$C_{\text{п}} = C_{\text{уд}} M_{\text{ТП}} = 236215,2 \text{ Дж}/^\circ\text{C}.$$

В соответствии с формулой (2) при указанных значениях входящих в нее параметров и температуре $T_{\text{н}} = 20^\circ\text{C}$ время полного затвердевания рабочего вещества составит $\tau_{\text{затв}} = 33197,7 \text{ с} = 9,2 \text{ ч}$, и тогда время «разряда» ТП будет равно $\tau_{\text{разр}} = 0,5 \tau_{\text{затв}} = 4,6 \text{ ч}$. При $T_{\text{н}} = 25^\circ\text{C}$ получим $\tau_{\text{затв}} = 44785,4 \text{ с} = 12,4 \text{ ч}$, $\tau_{\text{разр}} = 6,2 \text{ ч}$.

Таким образом, при температуре воздуха в помещении с РЭО 20–25°C ТП может отдавать тепло в течение 4,6–6,2 ч.

Температуру оболочки ТП (в градусах Кельвина), которая достигается при воздействии на нее потока солнечной радиации $Q_{\text{луч}}$, можем найти из закона Стефана — Больцмана

$$Q_{\text{луч}} = \epsilon \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot T_0^4, \quad (3)$$

где ϵ — степень черноты наружной поверхности оболочки. Примем $\epsilon = 0,98$, что соответствует использованию лакокрасочного покрытия [5].

Для оценки $Q_{\text{луч}}$ воспользуемся приведенной в [5] методикой расчета максимального потока солнечной радиации, падающего на поверхность, расположенную на заданной географической широте с заданным углом наклона к горизонту в зимнее и в летнее время года.

Рассмотрим два варианта взаимодействия ТП с солнечной радиацией — более благоприятный и менее. Параметры для проведения оценки и ее результаты приведены в таблице, где I — среднемесячный поток солнечного излучения, падающий на единицу поверхности, T_0 — получена из формулы (3).

Условия расположения ТП: месяц/географическая широта/угол наклона к горизонту	I , кДж/ (м ² ·сут) [5]	$Q_{\text{луч}} = I \cdot S$		T_0 , °C
		кДж/ (м ² ·сут)	Вт	
Июнь/45° северной широты/7°	24176	62350	722	64,5
Февраль/60° северной широты/60°	22198	57249	663	57,4

Как видно из полученных результатов, даже в условиях, соответствующих худшему варианту взаимодействия ТП с солнечной радиацией, при исключении воздействия ветра обеспечивается нагрев оболочки ТП до температуры суще-

ственно более высокой, чем температура рабочего вещества.

Заключение

Приведенные оценочные расчеты показывают принципиальную работоспособность теплоаккумулирующей панели и целесообразность проведения более точных исследований с учетом временных суточных колебаний температуры воздуха в помещении с РЭО, температуры наружного воздуха и потока полного солнечного излучения.

Преимуществами предложенного решения являются простота конструкции, отсутствие затрат электроэнергии, а также близкие к нулю эксплуатационные затраты (перемещение, поворачивание, удаление пыли). К недостаткам следует отнести необходимость наличия помещения с большой площадью остекления стеклами с высоким коэффициентом пропускания падающего солнечного излучения, а также от 2,5 до 4,5 часов солнечной погоды в течение дня.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Цигберхман М. И., Фромберг Э. М., Грабой Л. П. Термостатирование в технике связи. — Москва: Связь, 1979.
2. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Евдулов Д. В., Габитов И. А. Математическая модель системы охлаждения элементов РЭА, основанной на использовании плавящихся теплового аккумулятора с дополнительным воздушным теплоотводом // Вестник МАХ. — 2015. — № 2. — С. 50–54.
3. Jankowski N.R., McCluskey P. A review of phase change materials for vehicle component thermal buffering // Applied Energy. — 2014. — N 113. — P. 1525–1561.
4. Алексеев В. А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ. — Москва: Энергия, 1975.
5. Спокойный Ю. Е., Трофимов В. Е., Гидалевич В. Б. Тепломассообмен в РЭА: Сборник задач. — Киев, Одесса: Лыбидь, 1991.

Дата поступления рукописи
в редакцию 16.03 2017 г.

В. Є. ТРОФІМОВ

Україна, Одеський національний політехнічний університет

E-mail: vovic@ukr.net

ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧА ПАНЕЛЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННІ З РАДІОЕЛЕКТРОННИМ ОБЛАДНАННЯМ

Для підтримки мікроклімату в приміщеннях з радіоелектронним обладнанням, розташованих у важкодоступних регіонах, пропонується для мінімізації енерговитрат використовувати теплоаккумулюючу панель, в якій відбувається фазовий перехід твердої робочої речовини в рідку під впливом сонячного випромінювання. Наведено результати оцінки працездатності такого пристрою, характеристики і рекомендації щодо застосування.

Ключові слова: радіоелектронне обладнання, мікроклімат, акумулятор сонячної енергії, плавка речовина.

THERMAL-ACCUMULATING PANEL FOR MICROCLIMATE SUPPORT
IN A ROOM WITH RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

In a number of applications the functioning of radio electronic equipment (REO) occurs in rooms located in hard-to-reach regions with climatic conditions that are characterized by significant air temperature fluctuations reaching tens of Celsius degrees. To compensate these fluctuations various microclimate control devices are used. Their common property is necessity to consume electric energy, amount of which in the specified conditions is sufficiently limited. In this regard, the actual task is to minimize energy costs to provide the microclimate REO, for example, by using devices that do not require electrical energy for their operation.

One of the opportunities for solving this problem is using of a thermal-accumulating panel (TAP). It is designed to compensate heat losses from the room with REO at night. The principle of the TAP is based on the absorption and conservation of thermal energy for a period of time during the phase transition of a solid working substance into liquid influenced, for example, by solar radiation.

The construction of such TAP is considered here. Assessments of its operability, characteristics and recommendations for use are given. It is shown that at air temperature of 20 ... 25 °C TAP can heat the room for at least 4.6 ... 6.2 hours at 2.5 ... 4.5 hours of sunny weather during daylight hours.

Keywords: radio electronic equipment, microclimate, solar energy accumulator, melting substances

REFERENCES

1. Tsigberkhman M. I., Fromberg E. M., Graboi L. P. *Termostatirovaniye v tekhnike svyazi*. [Thermostating in communication technology]. Moscow, Svyaz', 1979. (Rus)
2. Ismailov T. A., Evdulov O. V., Evdulov D. V., Gabitov I. A. [Mathematical model of the cooling system for REA elements based on the use of melting heat accumulators with additional air heat sink]. *Vestnik MAKh*, 2015, no 2, pp. 50 – 54. (Rus)

3. Jankowski N.R., McCluskey P. A review of phase change materials for vehicle component thermal buffering. *Applied Energy*, 2014, no 113, pp. 1525 – 1561.

4. Alekseev V. A. *Okhlazhdeniye radioelektronnoy apparatury s ispol'zovaniem plavyashchikhsya veshchestv*. [Cooling of electronic equipment using melting substances]. Moscow, Energiya, 1975. (Rus)

5. Spokoyniy Yu. E., Trofimov V. E., Gidalevich V. B. *Teplomassoobmen v REA: Sbornik zadach*. [Heat and mass transfer in REA: Collection of tasks]. Kyiv, Odessa, Lybid', 1991. (Rus)

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Зайков В. П., Мещеряков В. И., Журавлёв Ю. И. Прогнозирование показателей надежности термоэлектрических охлаждающих устройств. Книга 2. Каскадные устройства: монография. — Одесса: Политехперіодика, 2016. — 124 с.

Книга посвящена прогнозированию показателей надежности каскадных термоэлектрических устройств (КТЭУ) при их проектировании и оценке показателей надежности КТЭУ выбранной конструкции.

Рассмотрены функциональные зависимости, позволяющие оценить как охлаждающие возможности, так и энергетическую эффективность и показатели надежности проектируемого устройства в различных токовых режимах работы. Продемонстрирован подход, позволяющий перейти от расчетов к построению каскадных ТЭУ на основе унифицированных модулей, и подход, который позволяет оценить показатели надежности КТЭУ заданной конструкции. Проанализировано влияние тепловой нагрузки на параметры надежности КТЭУ. Приведены алгоритмы, которые помогут разработчику вести оптимизированное проектирование РЭА с использованием КТЭУ или выбрать оптимальную для поставленной задачи конструкцию КТЭУ.

Предназначена для инженеров, научных работников, а также студентов соответствующих специальностей, занимающихся вопросами надежности элементов электроники и в целом РЭА, а также разработкой и проектированием термоэлектрических устройств.

