

Математическая модель системы охлаждения элементов РЭА, основанной на использовании плавящихся тепловых аккумуляторов с дополнительным воздушным теплоотводом

Д-р техн. наук Т. А. ИСМАИЛОВ¹, канд. техн. наук О. В. ЕВДУЛОВ²,

канд. техн. наук Д. В. ЕВДУЛОВ, И. А. ГАБИТОВ

¹dstu@dstu.ru, ²ole-ole-ole@rambler.ru

Дагестанский государственный технический университет
367015, г. Махачкала, проспект Имама Шамиля, 70

Рассмотрена математическая модель, описывающая процесс теплообмена в системе охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Система охлаждения построена на совместном использовании тепловых аккумуляторов, основанных на плавлении рабочего вещества, и дополнительного воздушного теплоотвода. Она позволяет за счет дополнительного воздушного теплоотвода существенно сократить продолжительность затвердевания теплового аккумулятора. В работе приведены основные математические выражения, а также результаты расчетов, представленные в виде зависимости продолжительности полного проплавления (затвердевания) рабочего агента от мощности элемента РЭА (воздушного теплоотвода). Моделирование процессов, связанных с изменением агрегатного состояния рабочего вещества, осуществлены путем решения задачи Стефана с использованием метода Л. С. Лейбенсона. В результате получены системы дифференциальных уравнений для исследования процессов плавления и затвердевания рабочего агента при наличии и отсутствии конвективных потоков в жидкой фазе вещества. Расчет воздушного теплоотвода произведен на основе стандартных соотношений, описывающих конвективный теплообмен с гладкой и оребренной поверхностью.

Ключевые слова: плавящееся вещество, фазовый переход, система охлаждения, элемент РЭА, теплообмен, математическая модель.

Mathematical model of radio-electronic apparatus cooling system with fusion-type thermal storage accumulators and additional air-cooled heat sink

D. Sc. T. A. ISMAILOV¹, Ph. D. O. V. EVDULOV²,

D. V. EVDULOV, I. A. GABITOV

¹dstu@dstu.ru, ²ole-ole-ole@rambler.ru

Dagestan state technical university 367015, Russia, Mahachkala, pr. I. Shamilja, 70

The article describes mathematical model for heat exchange in cooling system for REA (radio-electronic apparatus). The cooling system uses fusion-type thermal storage accumulators and additional air-cooled heat sink. Due to additional air-cooled heat sink the cooling system allows the time of thermal storage accumulator solidification to be reduced greatly. Main calculations and their results are given. The dependence between working medium melting time (solidification) and REA element power (air-cooled heat sink) is shown. Working medium phase transition simulation is made by the solution of Stefan problem using L. Leybenson method. The system of differential equations for working medium melting and solidification processes with/without convection currents in liquid phase have been received. The calculation of heat sink is made on the basis of formulae for convective heat transfer from smooth and finned surface.

Keywords: melting material, phase transition, cooling system, REA element, heat exchange, mathematical model.

При охлаждении и термостабилизации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), работающей в режиме повторно-кратковременных тепловыделений, пассивными методами, основанными на применении тепловых аккумуляторов, целесообразным является использование обратимых процессов плавления, сопровождающихся поглощением теплоты на границе раздела твердой и жидкой фаз [1–3]. Для надежной работы элемента РЭА,

в этом случае, необходимым является наличие достаточного количества плавящегося рабочего вещества для аккумуляции выделяемого количества теплоты, а также скважности перерыва между включениями аппаратуры. Это время необходимо для затвердевания рабочего вещества до следующего цикла включения РЭА. В случае охлаждения радиоэлектронных приборов с небольшим промежутком между рабочими циклами, возникают

некоторые трудности вследствие недостатка времени, необходимого для затвердевания рабочего агента. В этой ситуации целесообразно применение некоторой системы, позволяющей интенсифицировать процесс затвердевания рабочего агента. В качестве таковой эффективным будет использование средств, основанных на воздушном методе теплоотвода [4].

На рис. 1 показан вариант, реализующий принцип совместного применения плавящихся тепловых аккумуляторов и воздушной системы теплоотвода [5]. Здесь элементы РЭА 1 размещаются на двух противоположных торцевых поверхностях тонкостенного металлического контейнера 2, заполненного рабочим веществом 3. В направлении, перпендикулярном размещению элементов РЭА в металлической емкости имеется канал 4 для продува воздуха за счет установленных вентиляторных агрегатов 5, один из которых работает на вдув воздушного потока, а другой на выдув. Вентиляторные агрегаты включаются и осуществляют продув воздушного потока по каналу в перерыве функционирования тепловыделяющего элемента. В общем случае канал для продува воздушного потока может быть обретен.

В соответствии со схемой, показанной на рис. 1, на металлическом контейнере с плавящимся рабочим веществом элементы РЭА могут размещаться на обеих его торцевых поверхностях (на верхней и нижней поверхностях). При размещении тепловыделяющего элемента на верхней поверхности емкости с рабочим веществом процесс теплопередачи в системе будет осуществляться только за счет теплопроводности агента. При подводе же теплоты снизу в жидкой фазе теплового аккумулятора будут существенны конвективные потоки. Поэтому при составлении математического описания процесса плавления вещества необходимо учитывать данные положения.

Математическое моделирование рассмотренной системы охлаждения включает в себя исследование теплофизических процессов при плавлении и затвердевании рабочего агента, а также расчет соответствующего воздушного теплоотвода.

Моделирование процессов, связанных с изменением агрегатного состояния рабочего вещества осуществлены путем решения задачи Стефана с использованием метода Л. С. Лейбензона [6, 7]. В результате получены следующие системы уравнений для исследования процессов плавления и затвердевания рабочего агента при наличии и отсутствии конвективных потоков в жидкой фазе вещества:

1. Для случая плавления рабочего вещества при отсутствии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$\frac{dT_{об}}{d\tau} = \frac{1}{(c\rho\delta)_{об}} \left[q_{РЭА} + k_{ср} (T_{ср} - T_{об}) + \frac{\lambda_1}{\xi} (T_{кр} - T_{об}) \right] \quad (1)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\frac{1}{2} c_1 \rho_1 \xi \frac{dT_{об}}{d\tau} + \frac{\lambda_1}{\xi} (T_{кр} - T_{об})}{c_1 \rho_1 \left(\frac{1}{2} T_{кр} - T_{об} \right) - c_2 \rho_2 (T_{кр} - T_{2R0}) \frac{\xi - R}{\xi_0 - R} - \rho_2 r} \quad (2)$$

2. Для случая плавления рабочего вещества при наличии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$(c\rho\delta)_{об} \frac{dT_{об}}{d\tau} = q_{РЭА} + \alpha_{ср} (T_{ср} - T_{об}) + \alpha_{кр} (T_1 - T_{об}), \quad (3)$$

$$c_1 \rho_1 \xi \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha_{об} (T_1 - T_{об}) + \alpha_{кр} (T_{кр} - T_1), \quad (4)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} \left[c_2 \rho_2 \left(\frac{-2 \cdot n (T_{кр} \cdot R - T_{2R0} \cdot R) + \xi (T_{2R0} - T_{кр})}{(n+1)(\xi_0 - R)} \right) + r \rho_2 \right] = \alpha_{кр} (T_1 - T_{кр}). \quad (5)$$

3. Для случая затвердевания рабочего вещества при отсутствии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

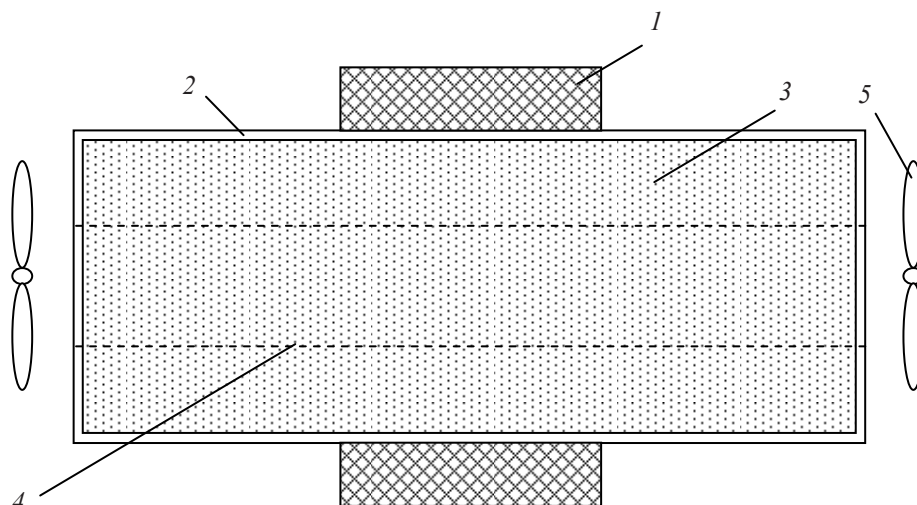


Рис. 1. Конструкция устройства для охлаждения элементов РЭА, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений, основанная на совместном использовании плавящихся тепловых аккумуляторов и воздушной системы теплоотвода

$$\frac{dT_{об}}{d\tau} = \frac{1}{(c\rho\delta)_{об}} \left[\alpha_{ср} (T_{ср} - T_{об}) + \frac{\lambda_2 (T_{кр} - T_{об})}{\xi} \right], \quad (6)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \frac{\lambda_2 (T_{кр} - T_{об}) - q_{ст} (R - \xi)}{\rho_1 r - \frac{1}{2} c_2 \rho_2 (T_{об} - T_{кр}) - c_1 \rho_1 (T_{1R0} - T_{кр}) \frac{R - \xi}{\xi_0 - R}}. \quad (7)$$

4. Для случая затвердевания рабочего вещества при наличии развитой конвекции в жидкой фазе теплового аккумулятора

$$(c\rho\delta)_{об} \frac{dT_{об}}{d\tau} = \alpha_{ср} (T_{ср} - T_{об}) + \alpha_{кр} (T_1 - T_{об}), \quad (8)$$

$$c_1 \rho_1 \xi \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha_{об} (T_1 - T_{об}) + \alpha_{кр} (T_{кр} - T_1), \quad (9)$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} \left[c_2 \rho_2 \left(\frac{-2 \cdot n (T_{кр} R - T_{2R0} R) + \xi (T_{2R0} - T_{кр})}{(n+1)(\xi_0 - R)} \right) + r \rho_1 \right] = \alpha_{кр} (T_1 - T_{кр}) - q_{ст}. \quad (10)$$

В соотношениях (1)–(10) c_i , ρ_i , λ_i — теплоемкость, плотность и теплопроводность жидкой и твердой фазы рабочего агента, где индекс 1 соответствует жидкой фазе, а индекс 2 — твердой фазе рабочего вещества; τ — время; $q_{РЭА}$ — количество теплоты, выделяемое элементом РЭА в единицу времени и приходящееся на единицу площади торцевой грани емкости с тепловым аккумулятором; $\alpha_{ср}$ — коэффициент теплоотдачи в окружающую среду $T_{об}$ — среднемассовая температура металлической оболочки устройства; $T_{ср}$ — температура окружающей среды; r — теплота плавления рабочего вещества; R — толщина слоя рабочего вещества; ξ — граница раздела фаз; $\alpha_{об}$, $\alpha_{кр}$ — соответственно коэффициенты теплоотдачи от оболочки к жидкости и от поверхности раздела фаз к жидкости; T_1 — средняя температура жидкой фазы; τ_0 , ξ_0 — время и толщина расплава, при которых начинается интенсивное движение конвективных токов и поле температур по жидкой фазе практически исчезает; T_{2R} , T_{2R0} — соответственно температуры при $x = R$ в любой момент времени τ и при $\tau = \tau_0$; ξ_0 — толщина расплава при $\tau = \tau_0$; τ_0 — время, при котором начинает наблюдаться линейное изменение температуры T_{2R} от времени; n — параметр, определяемый экспериментально [8, 9]; $q_{ст}$ — количество теплоты, отводимое в единицу времени системой теплоотвода и приходящееся на единицу площади торцевой грани емкости с тепловым аккумулятором.

Расчет системы воздушного теплоотвода сводится к нахождению значения $q_{ст}$, которое затем может быть использовано при стандартном расчете вентиляторного агрегата [10].

Величина $q_{ст}$ определяется из соотношения:

$$q_{ств} = \alpha_{ст} (T_2|_{x=R} - T_{ср}) \varepsilon, \quad (11)$$

где $\alpha_{ст}$ — коэффициент теплопередачи от теплоотводящей поверхности к окружающей среде, ε — коэффициент

эффективности оребрения поверхности (при отсутствии оребрения $\varepsilon = 1$).

Величина $\alpha_{ст}$ зависит от интенсивности теплообмена и термического сопротивления слоя покрытия на теплоотводящей поверхности устройства $\delta_{ст}/\lambda_{ст}$:

$$\alpha_{ст} = \frac{1}{1/\alpha_{ст.ки} + \delta_{ст}/\lambda_{ст}},$$

где $\alpha_{ст.ки}$ учитывает передачу тепла конвекцией и излучением.

Коэффициент эффективности оребрения поверхности характеризует наличие ребер по боковой поверхности, а также степень их эффективности и равен

$$\varepsilon = \frac{\text{th}(mh_p)}{mh_p},$$

где $m = \sqrt{\frac{\alpha_{б.п} U_p}{\lambda_p F_p}}$, U_p — периметр сечения ребра; λ_p —

коэффициент теплопроводности ребра; F_p — площадь поперечного сечения ребра; h_p — высота ребра.

Конвективный коэффициент теплообмена определяется по формуле

$$\alpha_{ст.к} = \frac{\text{Nu} \lambda_{ср}}{l_0}, \quad (12)$$

где Nu — число Нуссельта; $\lambda_{ср}$ — коэффициент теплопроводности теплоносителя (окружающая среда); l_0 — определяющий размер (длина емкости с тепловым аккумулятором).

При естественном воздушном теплообмене критерий Нуссельта определяется по одной из следующих формул [11]:

1. Гладкая (неоребренная) поверхность

$$\text{Nu} = \begin{cases} 0,45 \text{ при } (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) \leq 10^{-3}; \\ 1,18 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,125} \text{ при } 10^{-3} < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 10^2; \\ 0,54 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,25} \text{ при } 10^2 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) < 2 \cdot 10^7 \\ 0,135 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,33} \text{ при } 2 \cdot 10^7 < (\text{Gr} \cdot \text{Pr}). \end{cases} \quad (13)$$

2. Оребренная поверхность с вертикально расположенными ребрами

$$\text{Nu} = \begin{cases} 1,4 \left[\sqrt{1 + 0,443 \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D}} - \left(1 + 0,113 \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D} \right) \right] \text{ при } \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D} < 7 \\ 0,64 + 0,023 \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D} \text{ при } 7 \leq \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D} < 20 \\ 0,5 \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D} \text{ при } \frac{\text{Gr} \cdot b}{2D} \geq 20 \end{cases} \quad (14)$$

где D — длина ребра; b — расстояние между ребрами; Gr — число Грасгофа; Pr — число Прандтля.

С учетом вышеприведенных выражений окончательно выражение (11) может быть записано в следующем виде:

$$q_{ст} = \frac{\lambda_{ст}}{\delta_{ст}} (T_2|_{x=R} - T_{ср}) \frac{\text{th}(mh_p)}{mh_p},$$

где $\alpha_{ст.ки}$ определяется в соответствии с выражениями (12)–(14).

Результаты численного эксперимента по предложенной модели охлаждающего устройства показаны на рис. 2.

3. Рассмотрены зависимости длительности полного плавления рабочего вещества от мощности тепловыделений элемента РЭА, а также времени полного затвердевания рабочего вещества при использовании дополнительного воздушного теплосъема.

Расчеты произведены при следующих исходных данных: наполнители — парафин ($\rho_1 = 760 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 780 \text{ кг/м}^3$; $c_1 = 2680 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $c_2 = 2350 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $\lambda = 0,27 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; $r = 156 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$; $T_{\text{кр}} = 316 \text{ К}$); элаидиновая кислота ($\rho_1 = 850 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 860 \text{ кг/м}^3$; $c_1 = 2180 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $c_2 = 1550 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $\lambda = 0,16 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; $r = 214 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$; $T_{\text{кр}} = 318 \text{ К}$), азотнокислый никель ($\rho_1 = 1980 \text{ кг/м}^3$; $\rho_2 = 2050 \text{ кг/м}^3$; $c_1 = 2140 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $c_2 = 1800 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$; $\lambda = 0,56 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$; $r = 155 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$; $T_{\text{кр}} = 329,7 \text{ К}$; $T_{\text{ср}} = 293 \text{ К}$; $\lambda_{\text{ср}} = 10 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$; $\xi_0 = 0,001 \text{ м}$; $\tau_0 = 20 \text{ с}$.

Расчетные зависимости определяют, что температура оболочки и длительность плавления (затвердевания) рабочего вещества зависит от величины тепловой нагрузки на охлаждающее устройство (значения $q_{\text{РЭА}}$, $q_{\text{ст.в}}$), типа рабочего вещества, а также условий теплообмена с окружающей средой. Также на температуру оболочки устройства, а, следовательно, и на температуру элемента РЭА в процессе его функционирования будет оказывать влияние подбор соответствующего рабочего наполнителя. Как показали результаты исследований, для данных условий лучшие результаты получены при использовании в качестве наполнителя азотнокислого никеля. Для случая применения в качестве рабочего вещества азотнокислого никеля температура оболочки устройства наиболее стабильная, а скорость плавления наименьшая. При этом, согласно данным, показанным на рис. 2, продолжительность полного проплавления рабочего вещества, и, соответственно продолжительность стабильной работы элемента РЭА, также являются наибольшими (для азотнокислого никеля это время при $q_{\text{РЭА}} = 5000 \text{ Вт/м}^2$ составляет примерно 2,7 ч, элаидиновой кислоты — 2,2 ч, а для парафина — 1,7 ч). Это связано, прежде всего, с его более высокой теплопроводностью, которая почти в 2 раза больше, чем у парафина и в 3 раза больше, чем у элаидиновой кислоты.

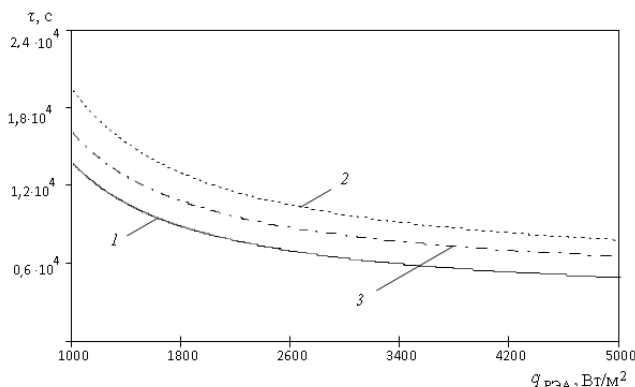


Рис. 2. Зависимость времени полного плавления различных тепловых аккумуляторов от мощности тепловыделений элемента РЭА, приходящихся на единицу площади, $(срд)_{об} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж/ (м}^2\cdot\text{К)}$; $R = 0,03 \text{ м}$: 1 — парафин, 2 — элаидиновая кислота, 3 — азотнокислый никель

Таким образом, снижения скорости роста температуры (до ее стабилизации) можно достичь за счет увеличения эффективной теплопроводности вещества. Одним из методов увеличения эффективной теплопроводности вещества также может явиться применение различных наполнителей. Так, например, могут быть использованы металлическая крошка, различного рода оребрение, сотовые конструкции, либо пористые структуры.

При исследованиях, связанных с изучением процессов теплообмена при затвердевании рабочего вещества, получены результаты, иллюстрируемые на рис. 3. Характер кривых, представленных на графике, показывает, что продолжительность полного затвердевания рабочего вещества будет наименьшей для парафина и азотнокислого никеля и составит соответственно 1,25 и 1,4 ч. Первого — за счет наименьшей температуры и теплоты плавления, второго — за счет более высокого коэффициента теплопроводности.

Как показали расчеты, время остывания рабочего вещества и оболочки устройства при использовании дополнительного воздушного теплосъема значительно меньше их времени остывания при естественном теплообмене с окружающей средой (для парафина это отношение при дополнительном воздушном теплосъеме при $q_{\text{с.тв}} = 980 \text{ Вт/м}^2$ и $\alpha_{\text{с.тв}} = 8,6 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$ составляет 1,7 раза). Отсюда следует, что существующие ограничения в отношении времени цикла работы элемента РЭА и времени перерыва между его включениями, при использовании дополнительной теплоотводящей системы снижаются. Таким образом, если в случае естественного теплообмена оболочки охлаждающего устройства с окружающей средой период работы элемента РЭА должен был бы быть значительно меньше «паузы», то при использовании дополнительного теплосъема время между двумя последовательными циклами работы РЭА может быть в значительной мере уменьшено. При этом быстрее всего процесс охлаждения и затвердевания вещества при одинаковой системе теплоотвода проходит при применении в качестве наполнителя парафина и азотнокислого никеля.

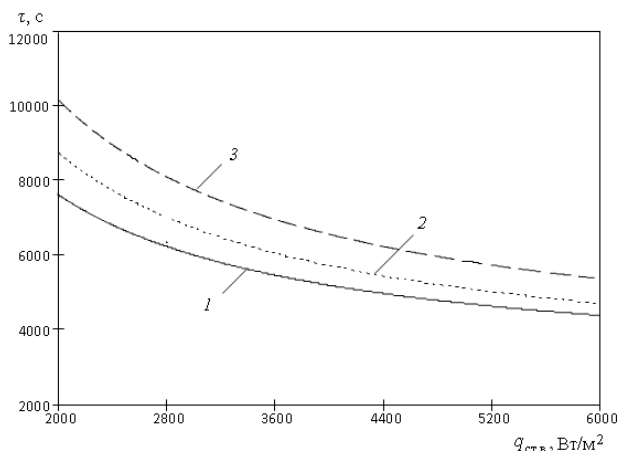


Рис. 3. Зависимость времени полного затвердевания рабочего вещества при использовании дополнительного воздушного теплосъема, от снимаемой с единицы поверхности тепловой мощности, $(срд)_{об} = 2,5 \cdot 10^3 \text{ Дж/ (м}^2\cdot\text{К)}$, $R = 0,025 \text{ м}$: 1 — парафин, 2 — элаидиновая кислота, 3 — азотнокислый никель

Список литературы

1. Алексеев В. А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ. — М.: Энергия, 1975.
2. Дульнев Г. И. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Высшая школа, 1984.
3. Кондратьев Г. М., Дульнев Г. Н., Платунов Е. С., Ярышев Н. А. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении. — СПб: СПбГУИТМО, 2003.
4. Исмаилов Т. А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. — СПб.: Политехника, 2005.
5. Патент РФ № 2257606 Устройство для отвода тепла от элементов радиоэлектронной аппаратуры с повторно-кратковременными тепловыделениями / Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Юсуфов Ш. А., 2005.
6. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967.
7. Исмаилов Т. А., Евдулов О. В., Юсуфов Ш. А., Аминов Г. И. Термостабилизирующие устройства для радиоэлектронной аппаратуры // Вестник Международной академии холода. 2002. № 3.
8. Исмаилов Т. А., Гаджиев Х. М. Излучающее термоэлектрическое устройство с рекуперацией энергии // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 43–45.
9. Гольдфарб Э. М. Теплотехника металлургических процессов. — М.: Металлургия, 1967.
10. Калинушкин М. П. Вентиляторные установки. — М.: Высшая школа, 1962.
11. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, 1976.

References

1. Alekseev V. A. Cooling of radio-electronic equipment with use of the melting substances. — Moscow: Energiya, 1975. (in Russian)
2. Dulnev G. I. Warm and a mass exchange in radio-electronic equipment. — Moscow. 1984. (in Russian)
3. Kondrat'ev G. M., Dul'nev G. N., Platunov E. S., Yaryshev H. A. Application-oriented physics: Heat exchange in instrument making. St. Petersburg. 2003. (in Russian)
4. Ismailov T. A. Thermoelectric semiconductor devices and intensifiers of a heat transfer. St. Petersburg. 2005. (in Russian)
5. Patent RF № 2257606. The device for heat extraction from elements of radio-electronic equipment with recursive short-time thermal emissions / Ismailov T. A., Evdulov O. V., Yusufov Sh. A., 2005. (in Russian)
6. Lykov A. V. Theory of heat conduction. Moscow: The higher school. 1967. (in Russian)
7. Ismailov T. A., Evdulov O. V., Yusufov Sh. A., Aminov G. I. Thermostabilizing devices for radio-electronic equipment. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2002. No 3. (in Russian)
8. Ismailov T. A., Gadzhiev Kh. M. Radiating thermoelectric device with power recuperation. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No 1. p. 43–45. (in Russian)
9. Gol'dfarb E. M. Heating engineer of metallurgical processes. Moscow. 1967. (in Russian)
10. Kalinushkin M. P. Ventilatory installations. Moscow. 1962.
11. Rotkop L. L., Spokoyniy Yu. E. Support of the thermal modes when constructioning radio-electronic equipment. Moscow. 1976. (in Russian)



ICR2015 The 24th IIR International Congress of Refrigeration
Improving Quality of Life, Preserving the Earth
 August 16 – 22, 2015 • Yokohama, Japan

The **24th IIR International Congress of Refrigeration** will bring together a large number of refrigeration stakeholders from all parts of the world. It will cover cryology, gas processing, thermodynamics, equipment & systems, biology & food technology, storage & transport, air conditioning, heat pumps, and energy recovery. The overarching theme is New Refrigeration Saves the Earth.

Main commissions: A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1, E2
Organizer(s): Japan Society of Refrigerating & Air Conditioning Engineers (JSRAE).
 Secretariat ICR2015, ICS Convention Design Inc.

Contact Details:
 Chiyoda Building, 1-5-18 Sarugakucho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8499, Japan
 e-mail: icr2015@ics-inc.co.jp

<http://www.icr2015.org/index.html>