



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



Московский институт электроники
и математики НИУ ВШЭ

Введение в тепловое моделирование

Обоснование необходимости учёта ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Как правило, лишь небольшая часть подводимой к электронным средствам (ЭС) энергии преобразуется в энергию полезного сигнала (5 – 10 % от мощности источника питания), остальная часть энергии **рассеивается в окружающую среду и идёт на нагревание узлов ЭС и электронных компонентов.**

Следствие: нагревание узлов ЭС и электронных компонентов приводит к изменению их параметров: изменение линейных размеров деталей, изменение сопротивлений резисторов и т.д. Данное обстоятельство может привести к отклонению параметров ЭС от нормы.

Обоснование необходимости учёта ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

$R = R_0 \cdot (1 + TКС \cdot \Delta T)$ - зависимость сопротивления от температуры

$C = C_0 \cdot (1 + TКЕ \cdot \Delta T)$ - зависимость ёмкости от температуры

$L = L_0 \cdot (1 + TКИ \cdot \Delta T)$ - зависимость индуктивности от температуры

$l = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ - зависимость линейного размера от температуры


$I = I_0 \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) - 1 \right)$ - зависимость прямого тока p - n перехода от температуры, где $\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q}$ - температурный потенциал

Основные определения

Теплопередача – физический процесс передачи тепловой энергии от одного тела к другому. Согласно второму закону термодинамики тепловая энергия может передаваться от более нагретого к менее нагретому телу, данный процесс необратим. Процесс происходит до установления термодинамического равновесия.

Существует три вида теплопередачи:

1. **Теплопроводность (кондукция)**;
2. **Конвекция**;
3. **Тепловое излучение**.



Теплопроводность (кондукция) – передача теплоты внутри одного тела, обусловленная тепловым движением микрочастиц (атомов, молекул).

Теплопроводность возможна во всех агрегатных состояниях вещества. Однако скорость протекания теплопроводности в них различна.

Количество теплоты – это тепловая энергия, передаваемая от одного тела к другому в течение какого-то времени: Q_{τ} , [Дж].

Тепловой поток (мощность) – это количество теплоты, передаваемое в единицу времени:

$$P_T, [\text{Дж}/\text{с}] = [\text{Вт}].$$

Плотность теплового потока (удельный тепловой поток) – это количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу поверхности:

$$q, \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

Конвекция – передача теплоты с помощью движущейся жидкотекучей среды или газового потока при контакте с поверхностью твёрдого тела, имеющего другую температуру. Конвекция не возникает в твёрдых телах. Среда, которые участвуют в процессах теплообмена, называются **теплоносителями**.

Конвекция бывает: 1) естественной; 2) вынужденной.

Естественная конвекция возникает самопроизвольно при неравномерном распределении плотности воздуха или жидкости в поле силы тяжести. Более нагретые области воздуха или жидкости имеют меньшую плотность от расширения поднимаются вверх, а менее нагретые области (более плотные) опускаются вниз. Процесс повторяется.

При **вынужденной конвекции** перемещение вещества вызвано воздействием внешней силы.

Тепловой поток P_T при естественной или вынужденной конвекции описывается уравнением Ньютона-Рихмана, или уравнением теплоотдачи:

$$P_T = \alpha_k S (T_n - T_{жс}),$$

где α_k - коэффициент конвективной теплоотдачи на поверхности раздела двух сред: жидкости (газа) и твёрдого тела, измеряется в $\frac{Вт}{м^2 \cdot C}$;

S – площадь поверхности, омываемой жидкостью (газом); T_n – температура поверхности; $T_{жс}$ – температура жидкости (газа).

Коэффициент теплоотдачи α_k характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и жидкостью. По физическому смыслу он представляет собой тепловой поток, отходящий от 1 м² поверхности при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в 1 градус.

Тепловое излучение – передача теплоты с помощью электромагнитных волн (лучей);

Или, другими словами, это теплообмен обусловленный превращением внутренней энергии тела в энергию электромагнитных волн, последующим переносом и поглощением этой энергии другими телами.

Абсолютно чёрное тело (АЧТ) – тело, поглощающее всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах.

Степень черноты ε – отношение энергии теплового излучения серого тела к излучению абсолютно черного тела при той же температуре.

Степень черноты для абсолютно черного тела $\varepsilon = 1$. Для остальных тел $\varepsilon < 1$.

Тепловое сопротивление – величина, характеризующая способность тела препятствовать распространению тепловой энергии. Тепловое сопротивление R_T участка определяется отношением разности температур ΔT между концами участка к тепловому потоку P_T , протекающему через участок. Тепловое сопротивление измеряется в $\frac{\text{K}\cdot\text{m}}{\text{Вт}}$.

$$R_T = \frac{\Delta T}{P_T}$$

По электротепловой аналогии:

$$\begin{aligned} R_{\text{э}} &\rightarrow R_T \\ \Delta\varphi &\rightarrow \Delta T \\ I &\rightarrow P_T \end{aligned}$$

Тепловое сопротивление кондукции участка с постоянным сечением S , имеющего длину L и коэффициент теплопроводности λ :

$$R_T = \frac{L}{\lambda \cdot S}.$$

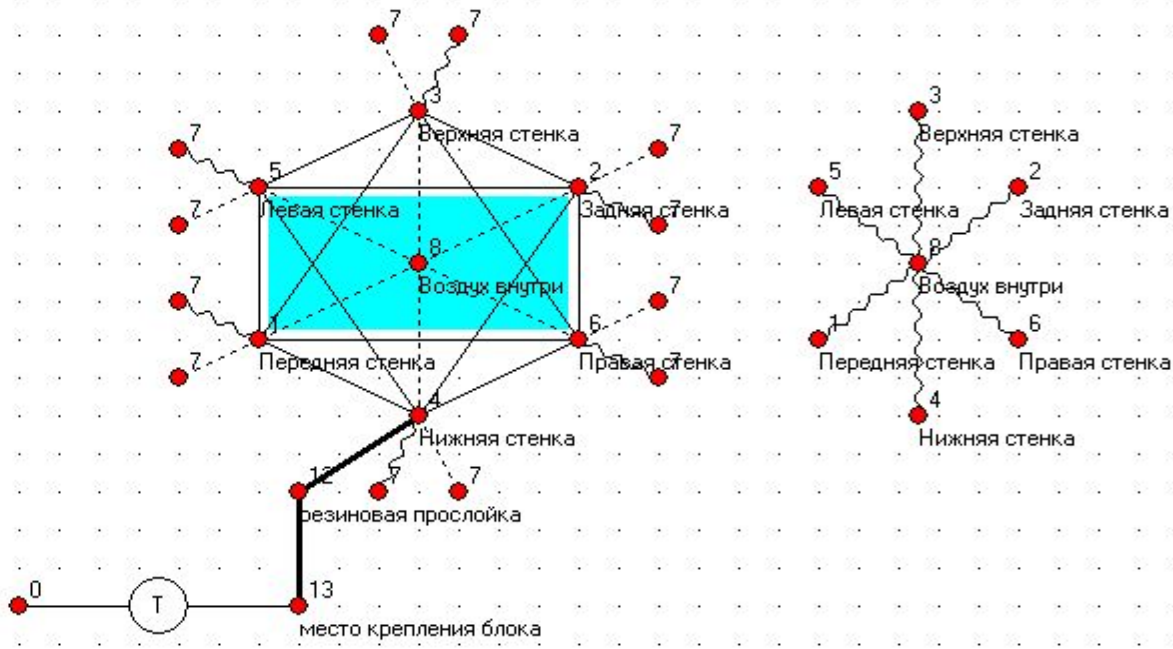
Тепловое сопротивление конвективной теплоотдачи :

$$R_T = \frac{1}{\alpha_k \cdot S}.$$

Тепловое сопротивление излучения:

$$R_T = \frac{\Delta T}{P_{\text{изл}}} = \frac{T_1 - T_2}{S \cdot (\epsilon_1 \cdot T_1^4 - \epsilon_2 \cdot T_2^4)}.$$

Расчет тепловых характеристик блока



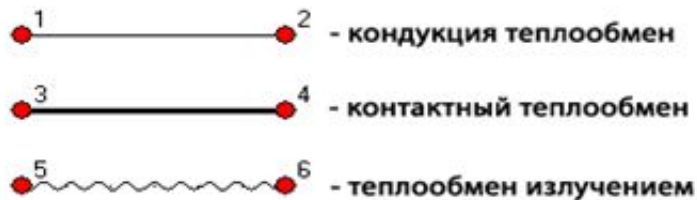
Модель тепловых процессов блока в подсистеме АСОНИКА-Т (часть)


Температура в узлах модели

| № узла | Имя узла | Температура |
|--------|-----------------------|-------------|
| 1 | Передняя стенка | 55.4 |
| 2 | Задняя стенка | 54.6 |
| 3 | Верхняя стенка | 59.1 |
| 4 | Нижняя стенка | 50.5 |
| 5 | Левая стенка | 54.7 |
| 6 | Правая стенка | 54.7 |
| 7 | Окружающая среда | 50 |
| 8 | Воздух внутри | 56.8 |
| 9 | ПУ2 | 59.4 |
| 10 | ПУ1 | 69.7 |
| 11 | ПУ3 | 60.8 |
| 12 | резиновая прослойка | 50.3 |
| 13 | место крепления блока | 50 |
| 14 | Трансформатор | 55.8 |
| 15 | Панель разъемов | 55.3 |
| 16 | МДМ | 59.4 |
| 17 | Радиатор | 59.1 |

Результаты расчета тепловых процессов в блоке

Виды тепловых ветвей

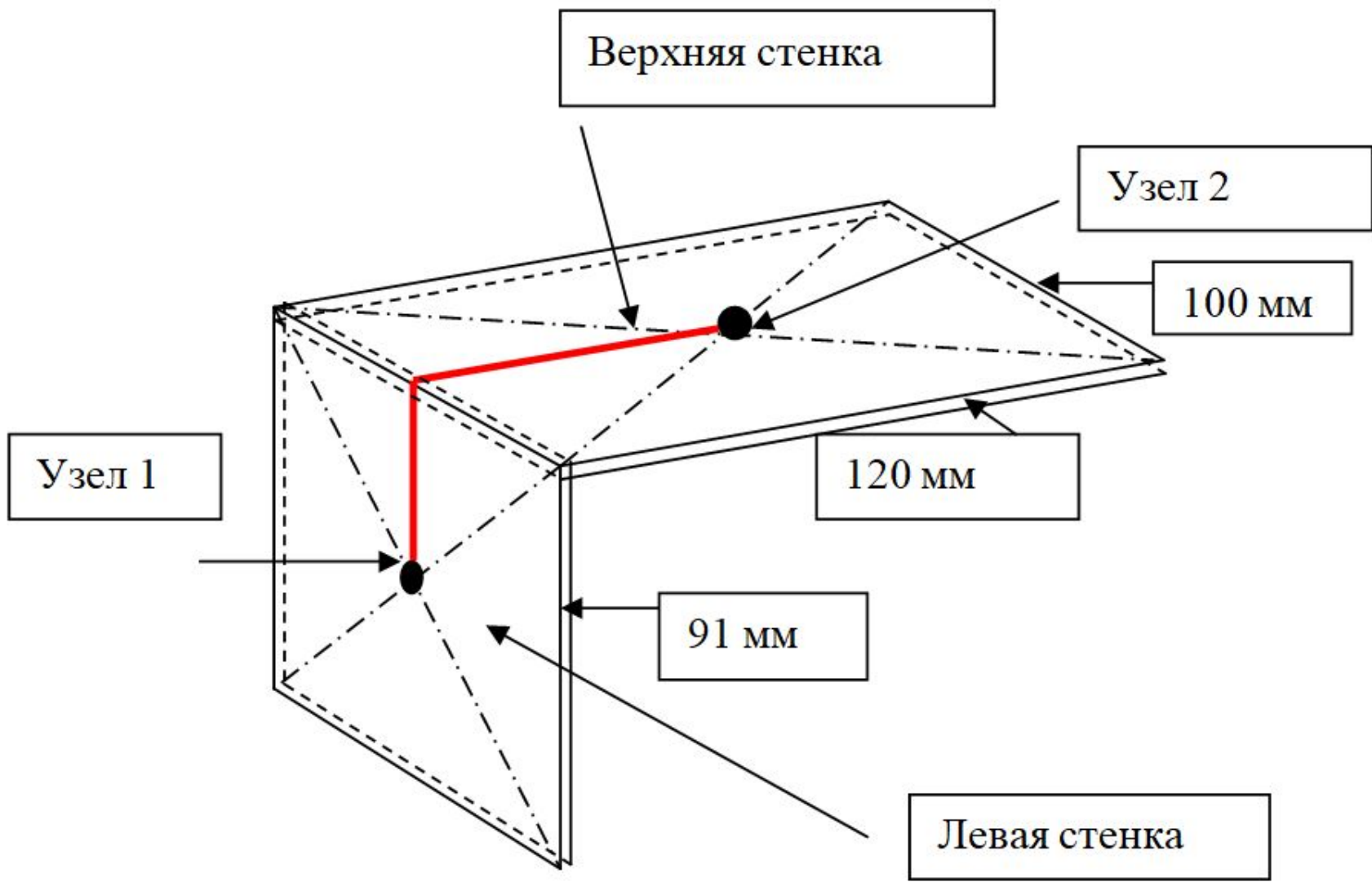




Тепловой режим аппаратуры бывает стационарным и нестационарным.

Стационарным называется тепловой режим, который не зависит от времени, т.е. температуры всех узлов ЭС постоянны во времени.

Нестационарным называется тепловой режим, при котором температуры узлов ЭС меняются со временем.



1-2: 100, 1, 105.5, Д16

