



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

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

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

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

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

$I = I_0 \cdot (\exp(\frac{U}{\varphi_T}) - 1)$ - 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 , [Дж/с] = [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 $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$;

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 $\frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$.

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

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 :

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

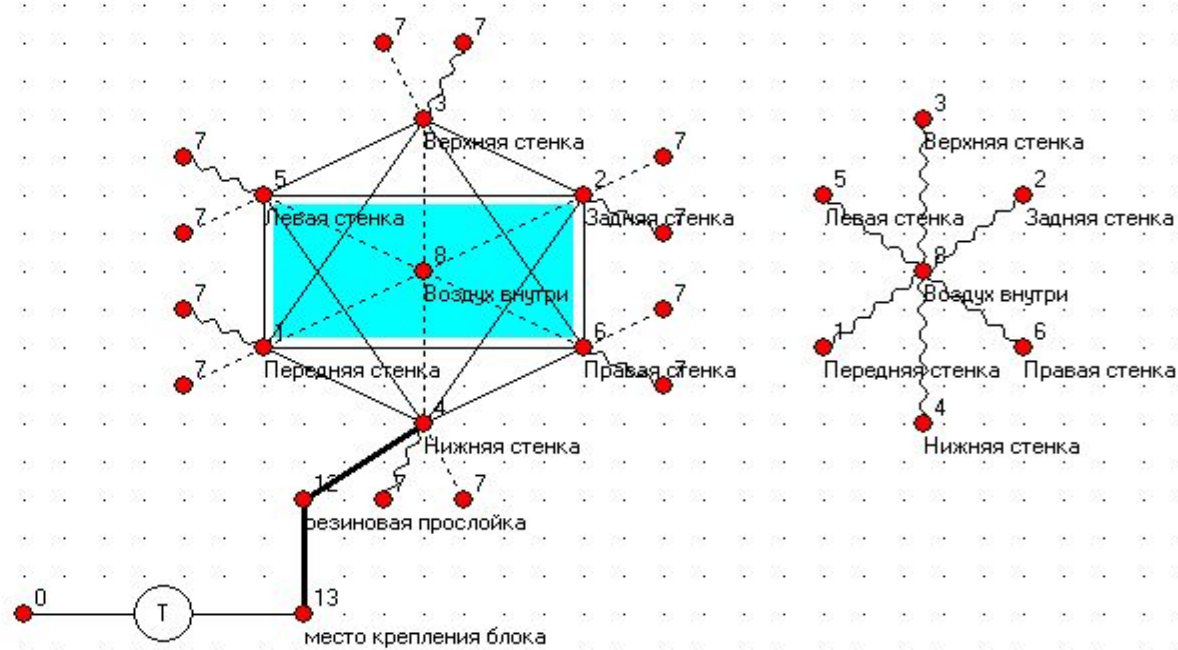
Тепловое сопротивление конвективной теплоотдачи :

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

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



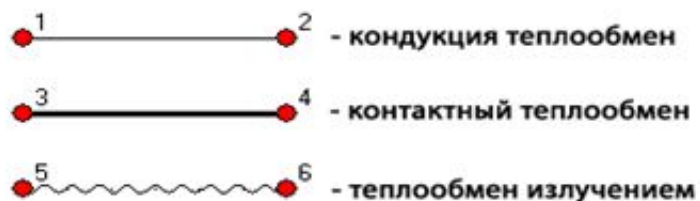
Модель тепловых процессов блока в подсистеме АСОНИКА-Т (часть)

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

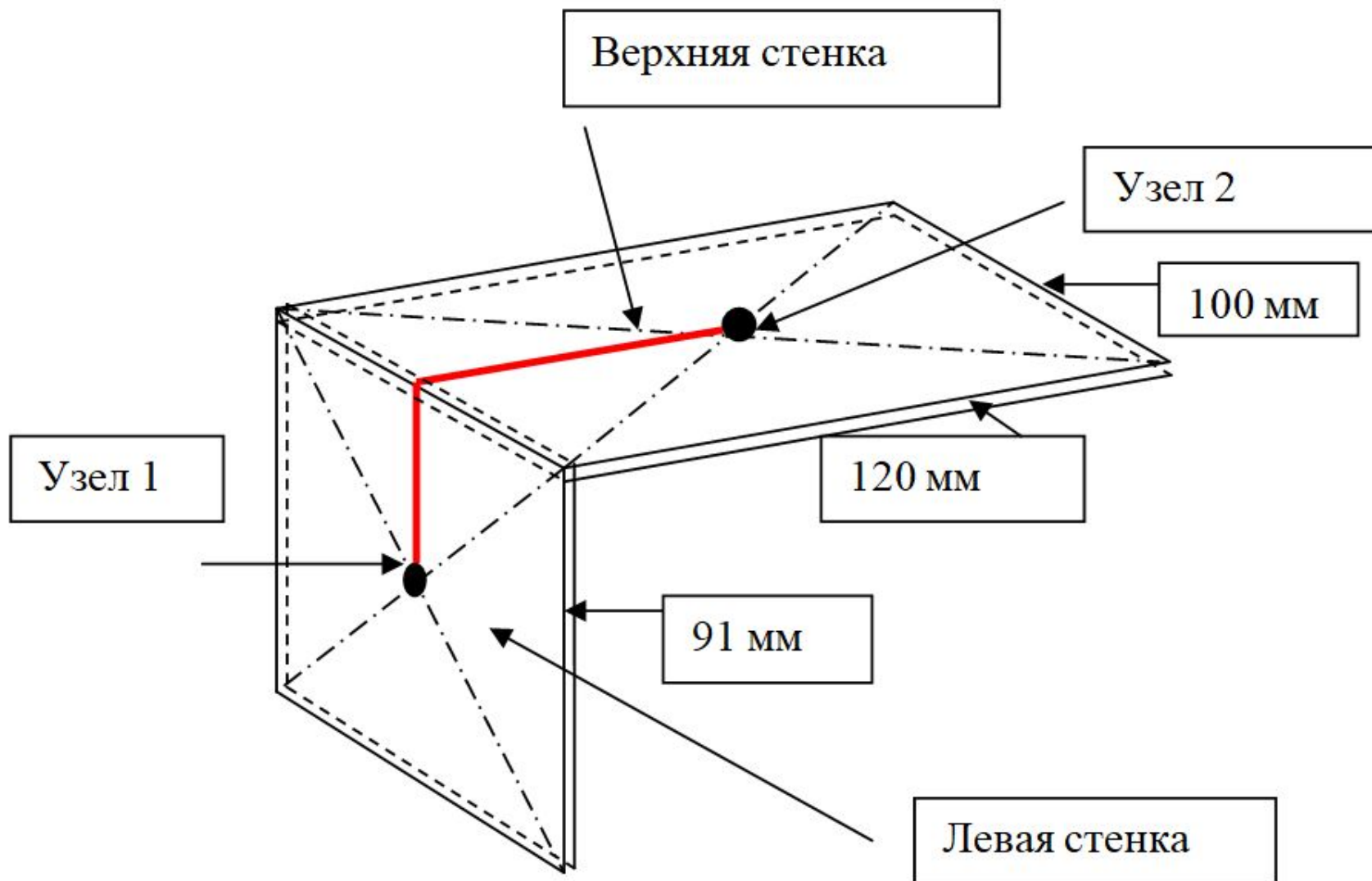




Тепловой режим аппаратуры бывает стационарным и нестационарным.

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

