

АНАЛИЗ МЕТОДИК ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ БЛОКОВ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

*Студенты 3-го курса А.Ю.Мишина, Ю.С.Отмахов
Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент А.А.Чернышев
г.Томск, ТУСУР*

Проект ГПО КИПР-1305 - Компьютерное моделирование конструкций электронных средств

Важной составляющей проектирования блоков космической аппаратуры (БКА) является расчет теплового режима с точностью, обеспечивающей возможность применения конструкторских решений.

При расчетах температуры корпуса и нагретой зоны БКА обычно применяются коэффициентные методы [1], дающие погрешность ± 10 °С.

В отдельных случаях разработчик затрагивает уточненный расчет с погрешностью не хуже $\pm (2...3)$ °С. В этом случае используется итерационная методика на основе теплофизических зависимостей, установленных применительно к электронной аппаратуре научной школой проф. Г.Н.Дульнева [2]. По сравнению с коэффициентным, итерационные методы расчета отличаются большой трудоемкостью и требуют уточнения большого количества параметров, которые на ранних стадиях конструирования однозначно определить невозможно.

Целью настоящего теоретического исследования является оценка целесообразности применения уточняющей итерационной методики в случаях, когда предварительный расчет теплового режима БКА выполнен коэффициентным методом.

Анализ проведем путем сравнения результатов расчета температуры поверхности БКА указанными методами в определенном диапазоне варьирования влияющих факторов.

В расчетах коэффициентными методами [1] используются готовые зависимости перегрева нагретой зоны или корпуса блока от рассеиваемой мощности, отнесенной к соответствующей площади поверхности. Посредством специальных коэффициентов при естественном охлаждении учитывается влияние барометрического давления, наличие перфораций. При этом температура среды, форма корпуса и ориентация его большей грани во внимание не принимается.

Методика Г.Н.Дульнева [2] требует задания ориентации блока в пространстве, его геометрических размеров (длина, ширина, высота), температуры окружающей среды, степени черноты поверхностей и барометрического давления.

С целью идентификации блоков по соотношению габаритных размеров (длина, ширина, высота – для наземных условий) нами введено понятие **фактора формы**. Под фактором формы K_{ϕ} понимается отношение вертикального определяющего размера блока, выполненного в форме прямоугольного параллелепипеда, к горизонтальному определяющему размеру (рисунок 1):

$$K_{\phi} = \frac{h}{l_{min}},$$

где h – высота блока;
 l_{min} – минимальный из его горизонтальных размеров.

K_{ϕ} не меняется при форме корпуса БКА с частичным срезом одного угла, которая характерна для блоков, размещаемых в гермоотсеке КА.

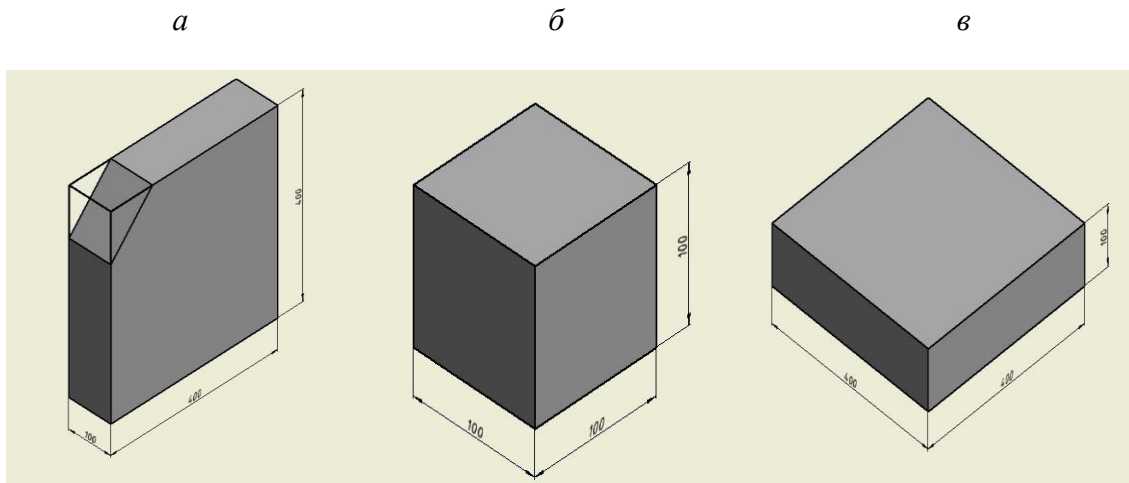


Рисунок 1 – Блоки КА с различными значениями фактора формы:
a – $K_{\phi}=4$; *б* – $K_{\phi}=1$; *в* – $K_{\phi}=0.25$

Сопоставление методик проведем путем сравнения тепловых характеристик корпуса БКА, рассчитанных коэффициентным и итерационным методами.

Под тепловой характеристикой понимается зависимость перегрева ϑ_k от удельной мощности q_k корпуса БКА:

$$\vartheta_k = \vartheta_k(q_k),$$

$$\vartheta_k = t_k - t_c,$$

$$q_k = \frac{P}{S_k},$$

где ϑ_k - перегрев корпуса, °С;

t_k - температура корпуса, °С;

t_c - температура среды, °С;

q_k - удельная мощность Вт/м²;

S_k - площадь поверхности корпуса, м²;

P – суммарная мощность источников тепла в БКА, Вт .

Расчеты, результаты которых представлены на рисунках 2 и 3, проведены для следующих диапазонов влияющих факторов: удельная мощность корпуса $q_k = 0 \dots 300$ Вт/м²; температура среды $t_c = 4 \dots 30$ °С; линейные размеры $L = 100 \dots 400$ мм; приведенная степень черноты поверхностей $\varepsilon_{пр} = 0.8$; фактор формы $K_{\phi} = 0,25 \dots 4$.

В расчетах принято во внимание, что при охлаждении БКА, размещаемых на негерметичной платформе спутника в объеме экранно-вакуумной изоляции, конвективная теплоотдача отсутствует. Диапазон варьирования температуры среды t_c выбран с учетом того, что средняя температура термоциклирования в объеме экранно-вакуумной изоляции спутника составляет ориентировочно +4 °С, в то время как максимальная температура в лаборатории при наземных электрических испытаниях БКА не превышает 30 °С.

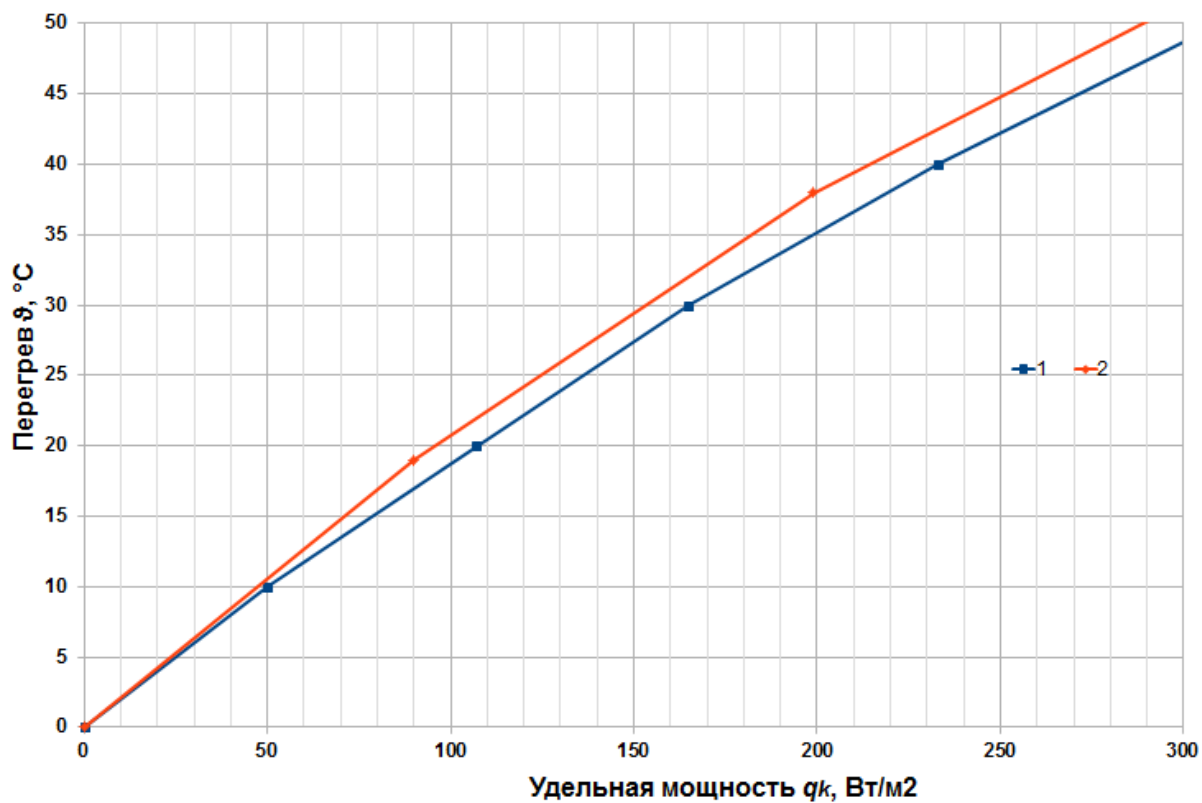


Рисунок 2 – Результаты расчета перегрева корпуса БКА в условиях вакуума/невесомости при $t_c = 4^\circ\text{C}$:
 1 – по методике Г.Н.Дульнева; 2 – коэффициентным методом

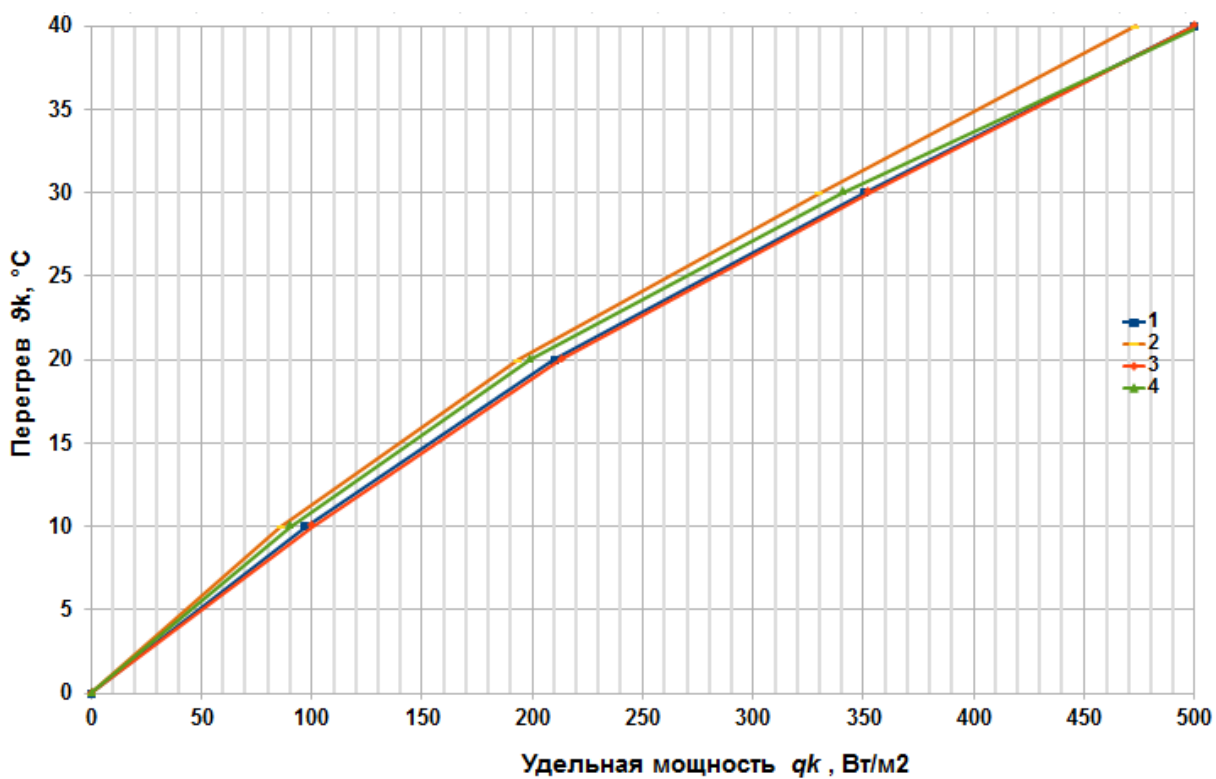


Рисунок 3– Результаты расчета перегрева корпуса БКА ($t_c = 30^\circ\text{C}$, наземные условия) по методике Г.Н.Дульнева (1 – $K_\phi = 0.25$; 2 – $K_\phi = 1$; 3 – $K_\phi = 4$) и коэффициентным методом (4)

Как следует из представленных тепловых характеристик, результаты расчетов перегрева корпуса БКА коэффициентным методом [1] и методом Г.Н.Дульнева [2] в широком диапазоне удельной мощности различаются не более чем на 3°C. Это позволяет сделать следующий **вывод**:

Уточнение расчета перегрева БКА, выполненного коэффициентным методом, путем применения более трудоемкой итерационной теплофизической методики нецелесообразно, поскольку расхождение получаемых результатов не превосходит погрешности последней.

Список литературы

1 Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоаппаратуры. – М.: Сов.радио,1976. – 232 с.: ил.

2 Дульнев Г. Н. Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. – Л.: Энергия, 1971. – 248 с.: ил.