

Методы теплового расчета конструкций оптических приборов космического базирования

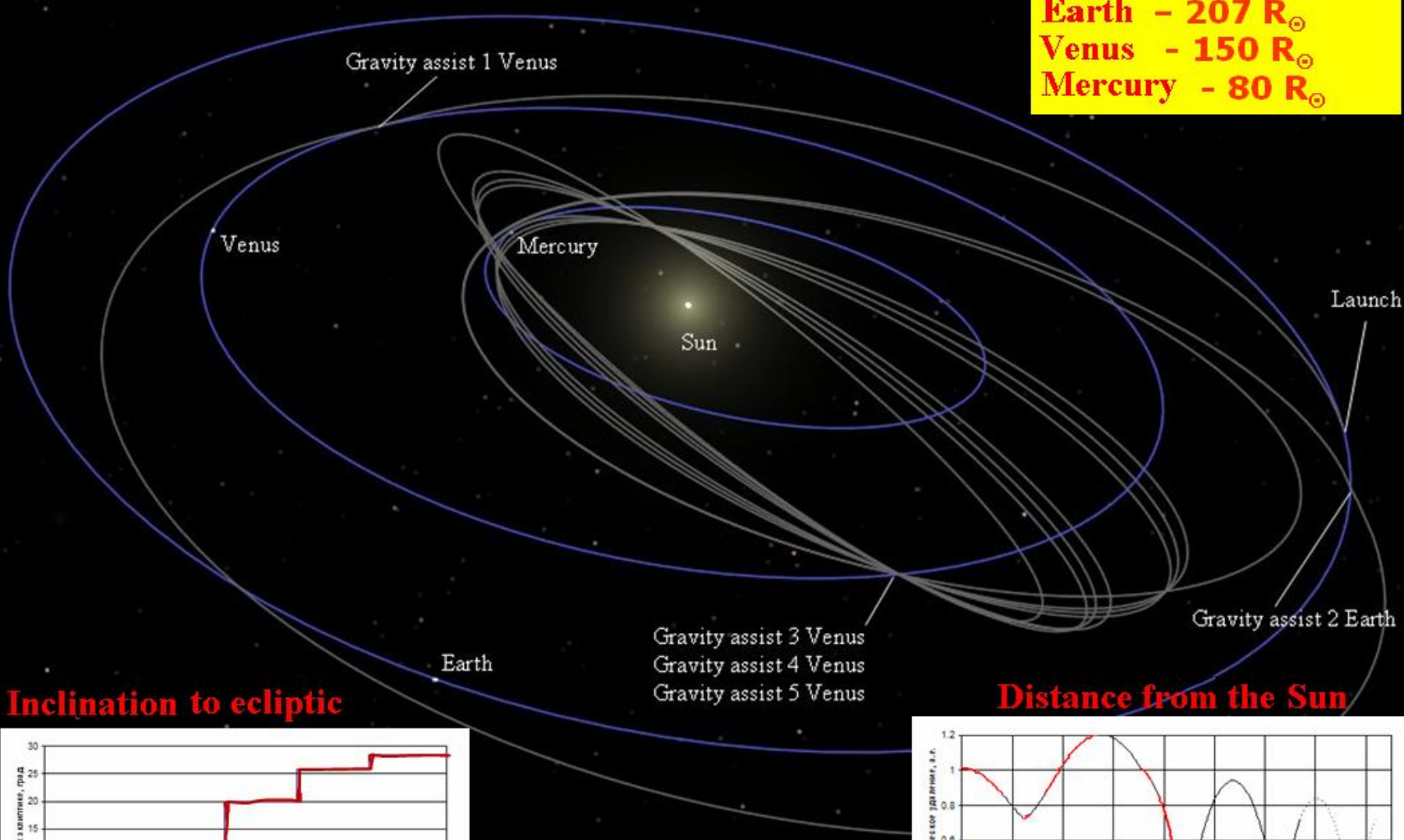
Е. А. Руденчик
ИЗМИРАН, г. Москва

Н. А. Демкович
Би Питрон, г. Санкт-Петербург

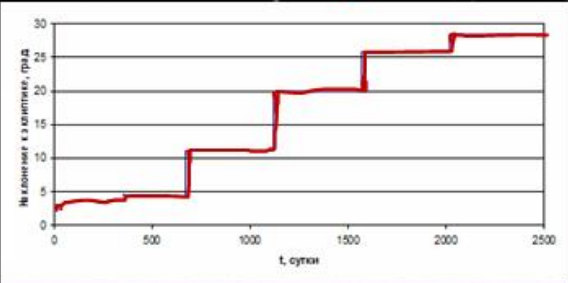


INTERGELIOPROBE: flight trace

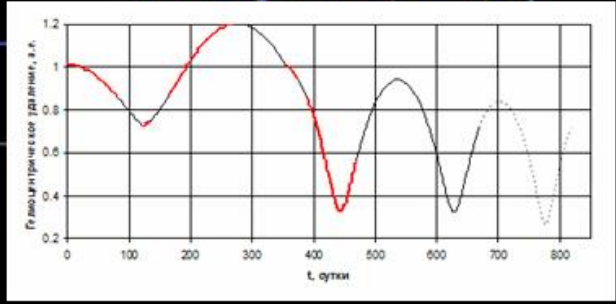
Earth - 207 R_☉
Venus - 150 R_☉
Mercury - 80 R_☉

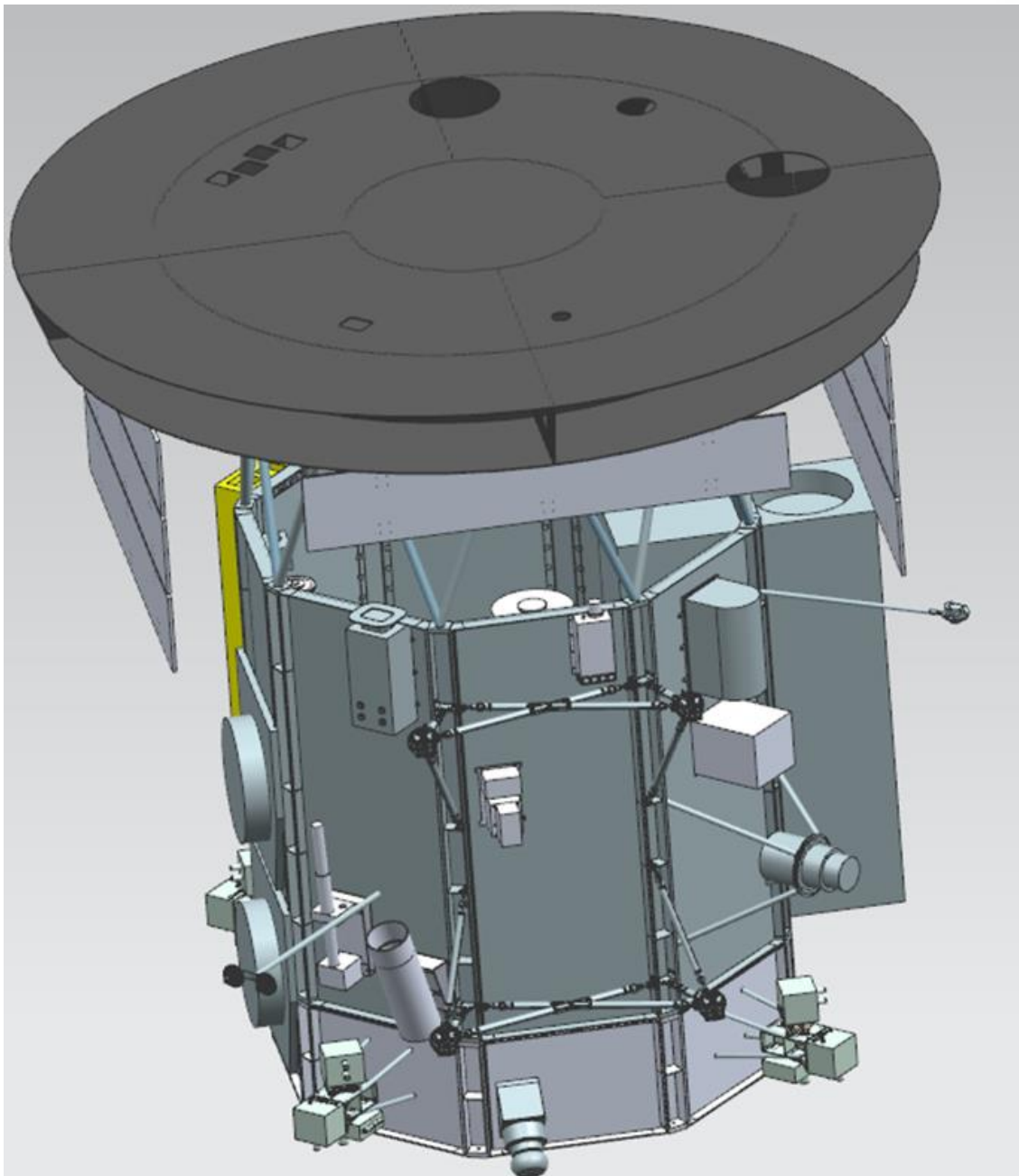


Inclination to ecliptic



Distance from the Sun

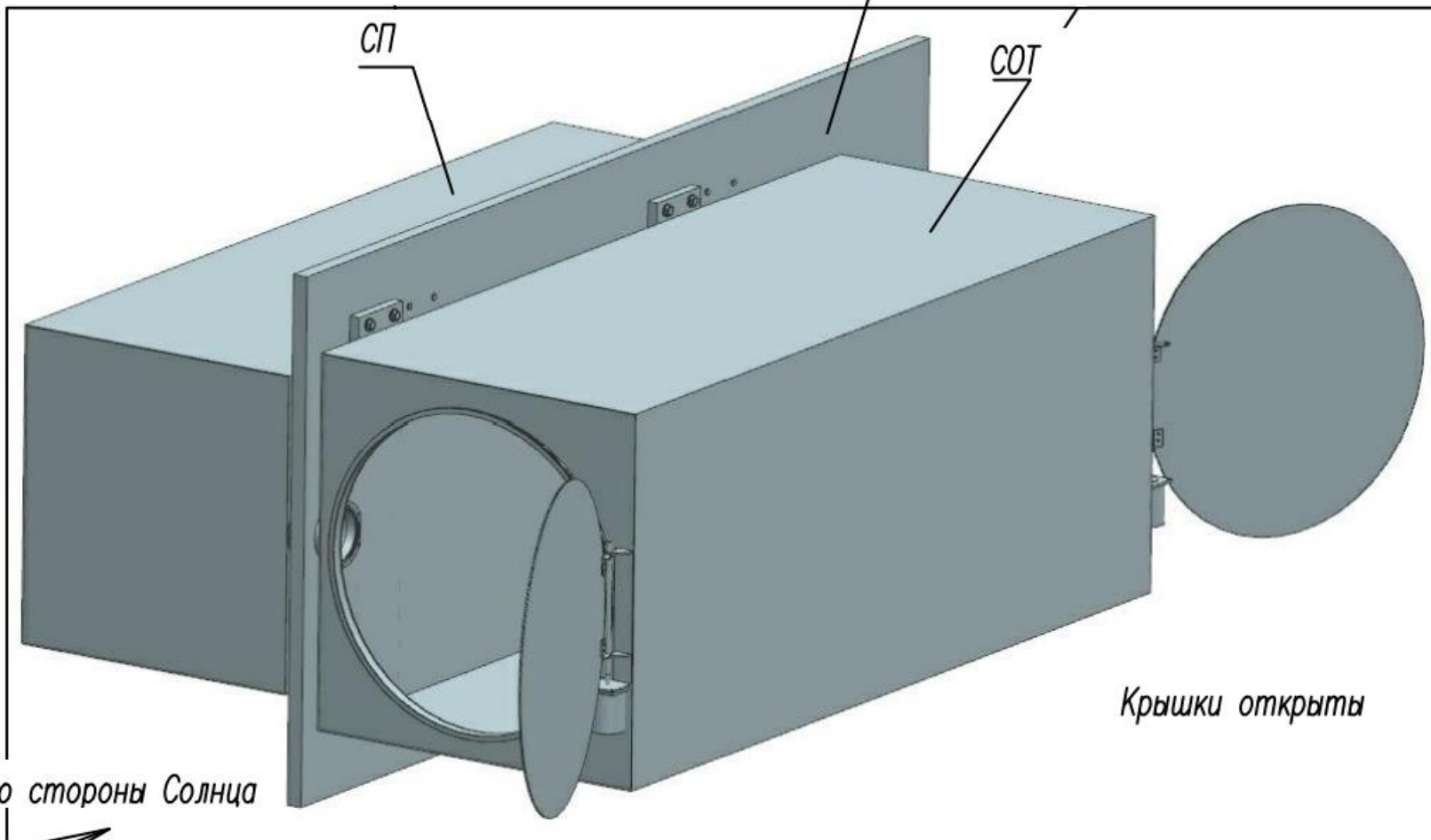




ТСП (условное изображение)

СП

СОТ



МФОТ «Тахомаг»

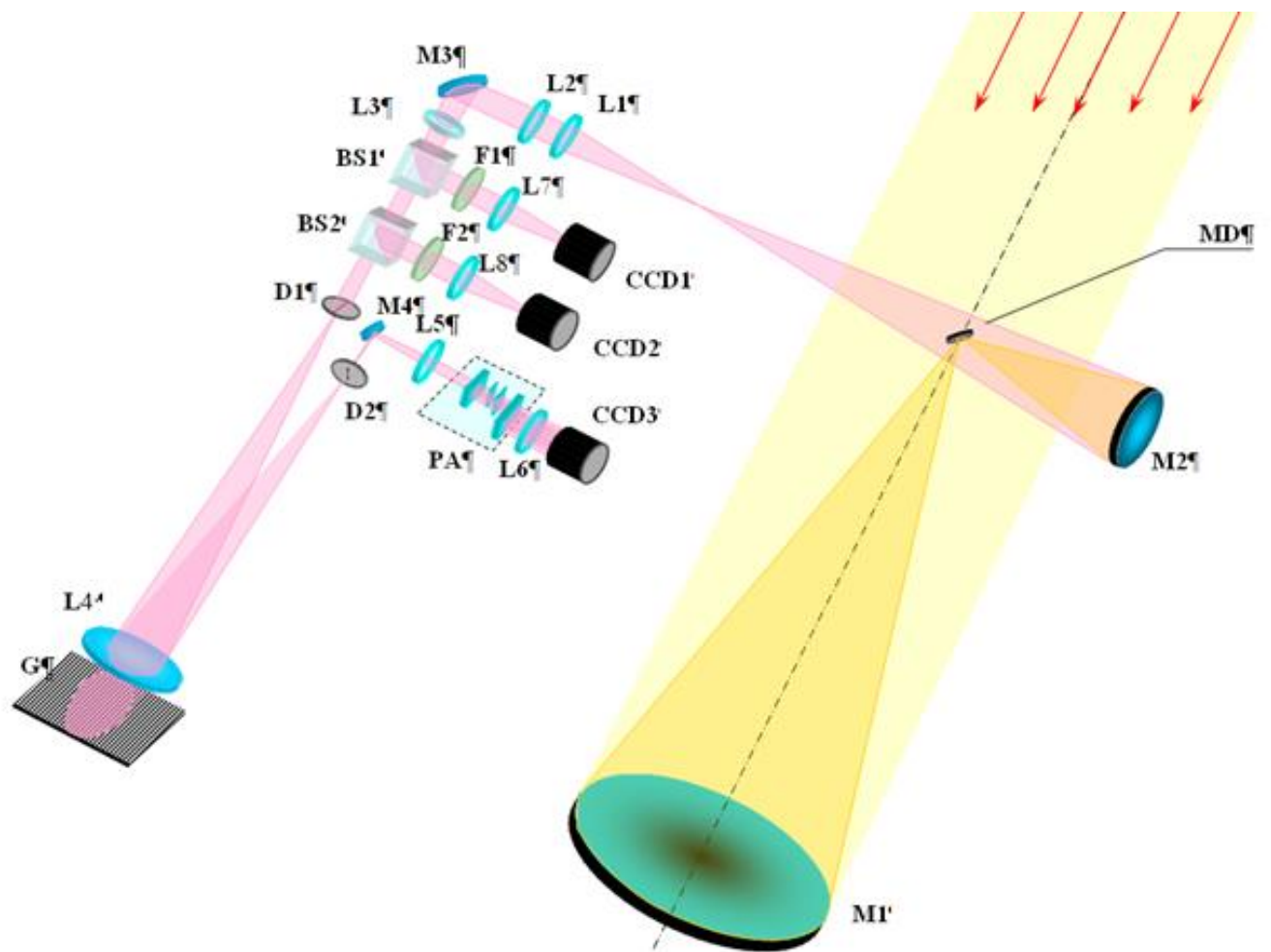


Рис. 1. Оптическая схема прибора «Тахомаг»

Постановка задачи

- Заданы потоки тепловой и световой энергии, приходящие на прибор от Солнца и космического аппарата (КА) при всех допустимых положениях КА относительно Солнца.
- Определить тепловые потоки и температуры всех оптических элементов и элементов конструкции прибора.
- Определить тепловые потоки идущие от прибора к КА

Тепловой расчет главного зеркала

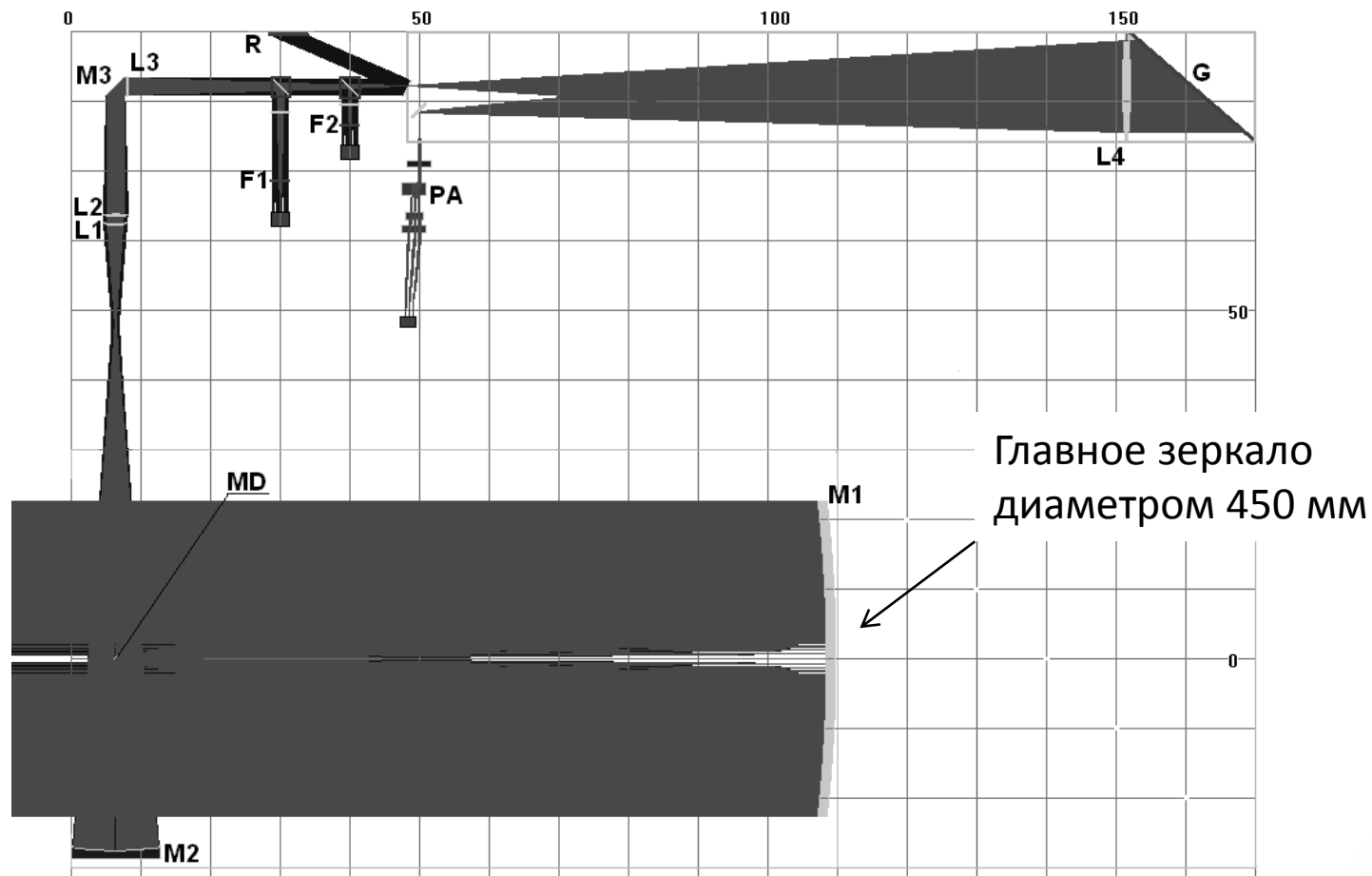
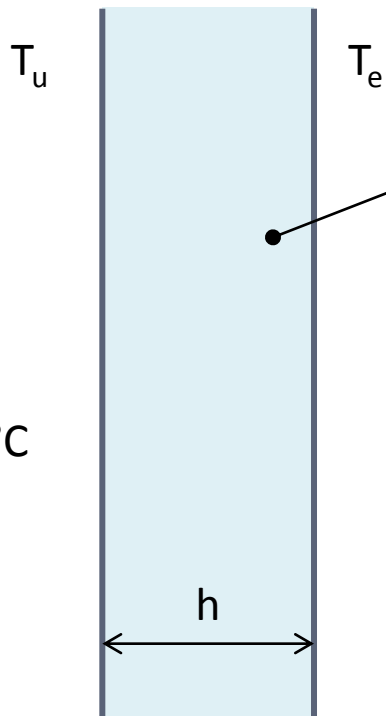


Рис. 4. Оптическая схема прибора «Тахомаг»

Задача о плоскопараллельной пластине: постановка



$T = 5500 \text{ }^\circ\text{C}$



Материал пластины ULE:

- показатель преломления n ,
- коэффициент поглощения $\alpha_\lambda \equiv \alpha(\lambda)$,
- теплопроводность пластины k ,
- степень черноты пластины g_u, g_e

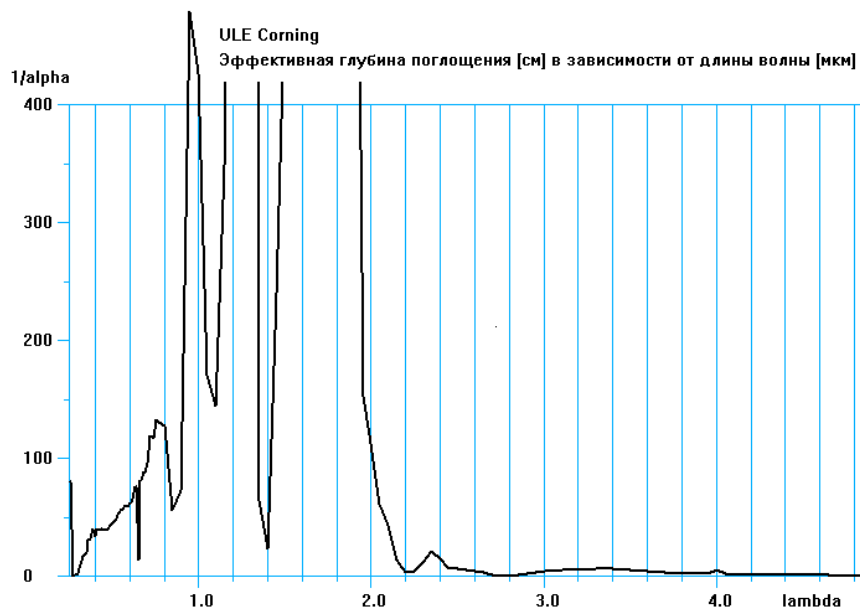


Рис. 5. Эффективная глубина поглощения для ULE

Задача о плоскопараллельной пластине: решение

ULE UV $h=0.014\text{м}$
Процент поглощенной энергии относительно полной 7.15
Распределение поглощенной энергии по длинам волн

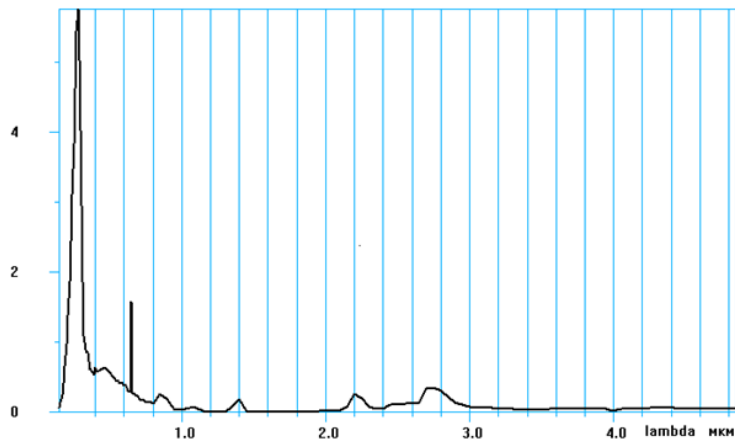


Рис. 6. Распределение поглощенной энергии по длинам волн

$T1=333.5\text{K}$ $T2=331.0\text{K}$ $T1=60.3\text{C}$ $T2=57.9\text{C}$ $T1-T2=2.4$
ULE_UV Corning $H_{\text{Sun}}=17.6\text{кВт/м}^2$ $T_u=0.0\text{K}=-273.1\text{C}$ $T_e=0.0\text{K}=-273.1\text{C}$
Распределение температуры по глубине пластины $\lambda=160.0\text{мкм}$ $d=0.2\text{мкм}$

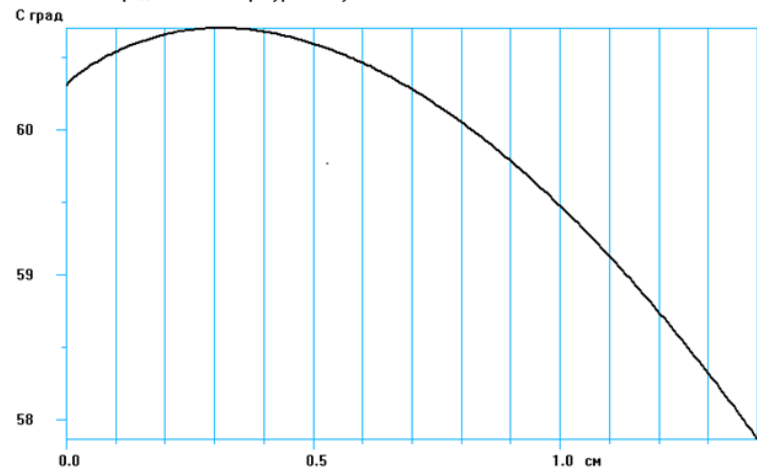


Рис. 7. Распределение температуры по толщине пластины

Задача о плоскопараллельной пластине: МКЭ

Zemax

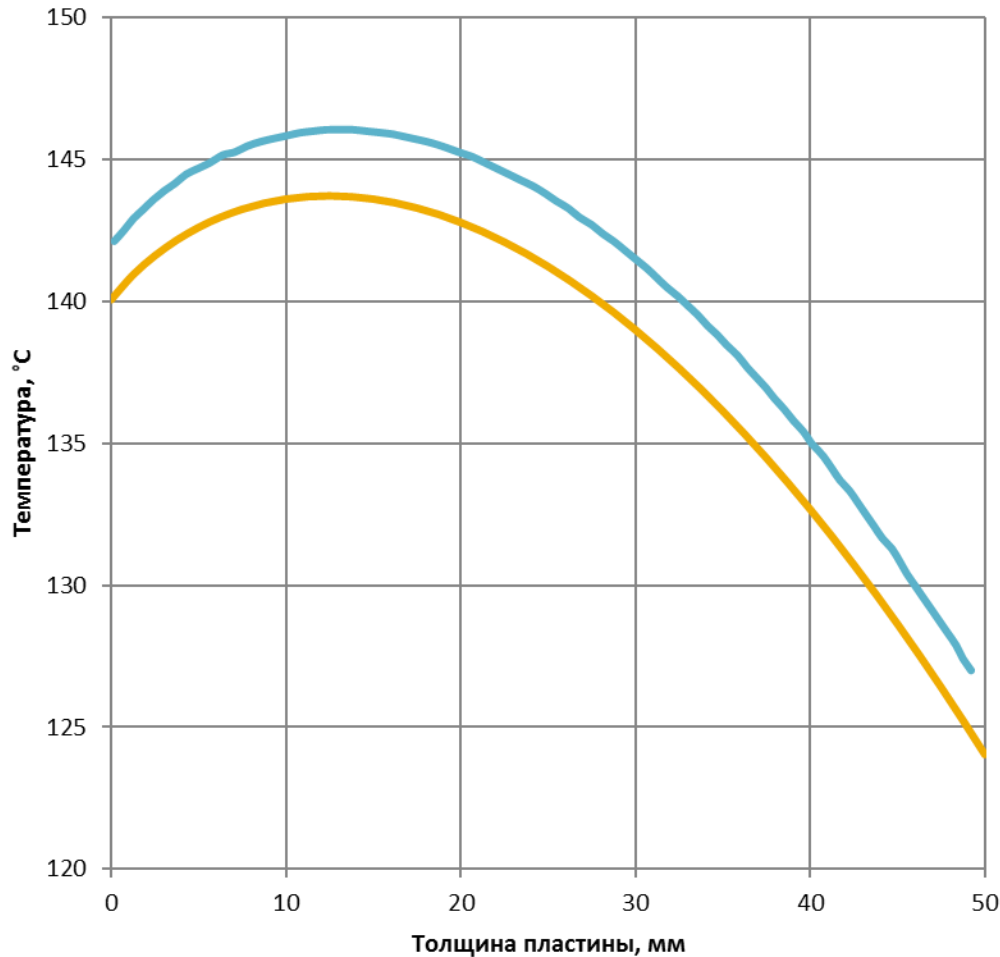
- моделирование объемного поглощения в прозрачном материале на основе данных:
 - о спектральном составе падающего излучения;
 - о зависимости коэффициента пропускания рассматриваемого материала от длины волны.



OOFELIE

- оценка распределения температур в конструкции;
- расчет температурных деформаций.

Задача о плоскопараллельной пластине: МКЭ

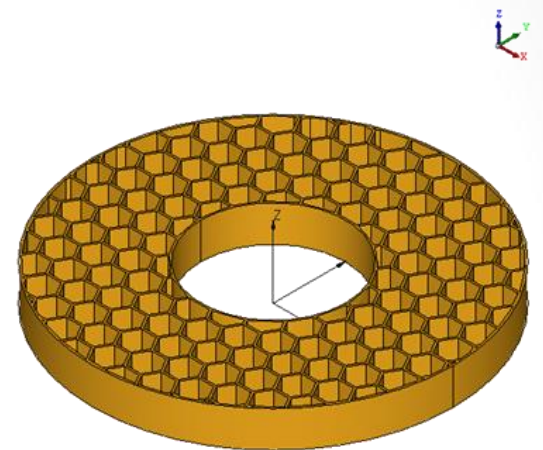
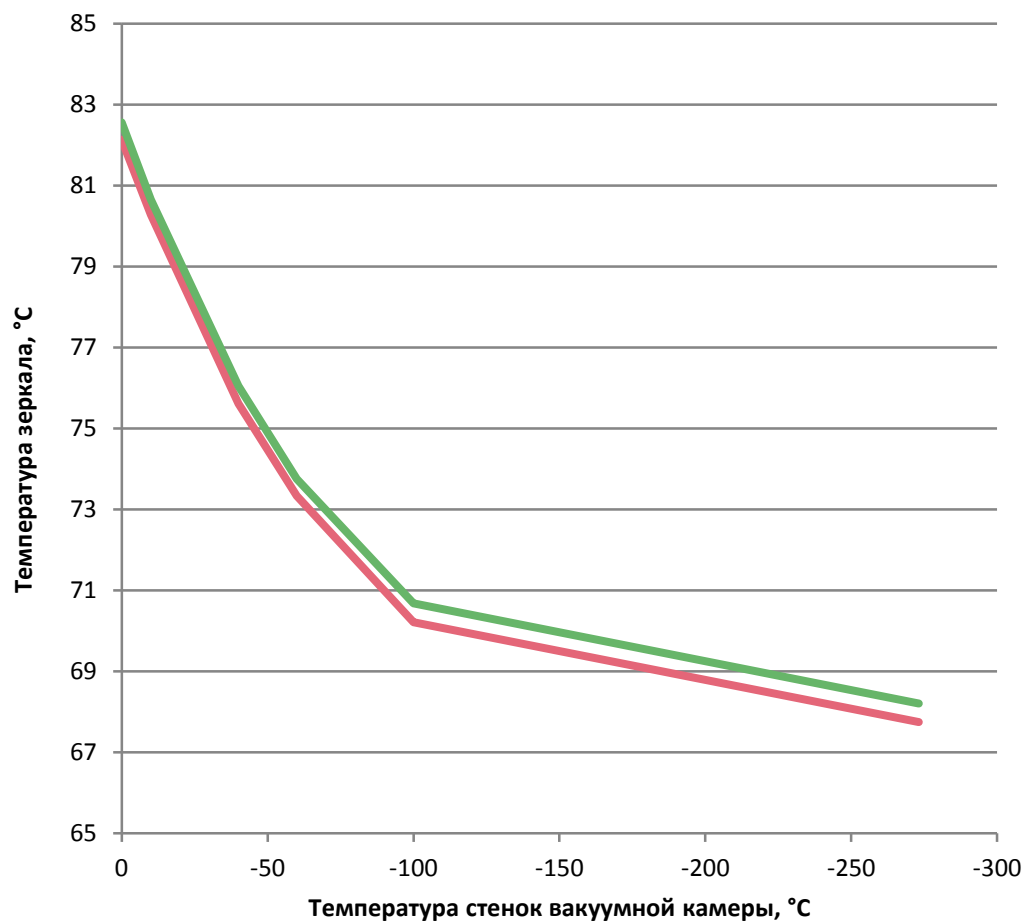


- Материал ULE;
- $h = 0.05$ м;
- $\alpha = \alpha(\lambda)$;
- $\kappa = 1.31$ Вт/м*К;
- $n = 1.48$;
- $H_0 = 17600$ Вт/м²;
- $g = 0.911$;
- $T_u = 25^\circ\text{C}$;
- $T_e = 0$ К.

— Zemax-OOFELIE; T, °C
— Аналитический расчет, T, °C

Рис. 8. Распределение температуры по толщине пластины

Расчет зеркал сложной формы



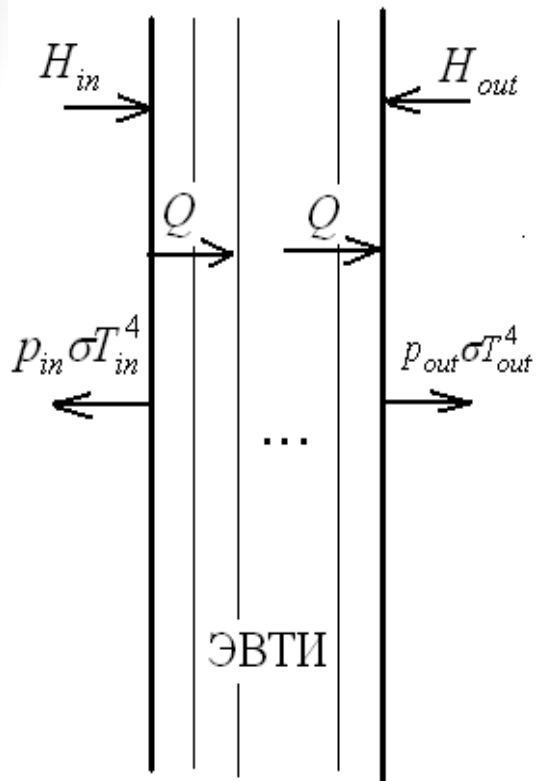
- ULE, квадратные выборки, максимальная т-ра
- ULE, шестиугольные выборки, максимальная т-ра

Рис. 9. Максимальные температуры зеркала диаметром 500 мм в зависимости от температуры стенок вакуумной камеры

Особенности тепловых расчетов КА

- Вакуум: конвективный теплоперенос отсутствует
- Температура за бортом – минус 270C°
- Ограниченность ресурсов (30-70Вт)
- Теплопередача происходит в основном излучением
- Излучение термодинамически неравновесно

Экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ)



Температуры внутреннего T_{in} и внешнего T_{out} слоев ЭВТИ определяется условиями теплового баланса

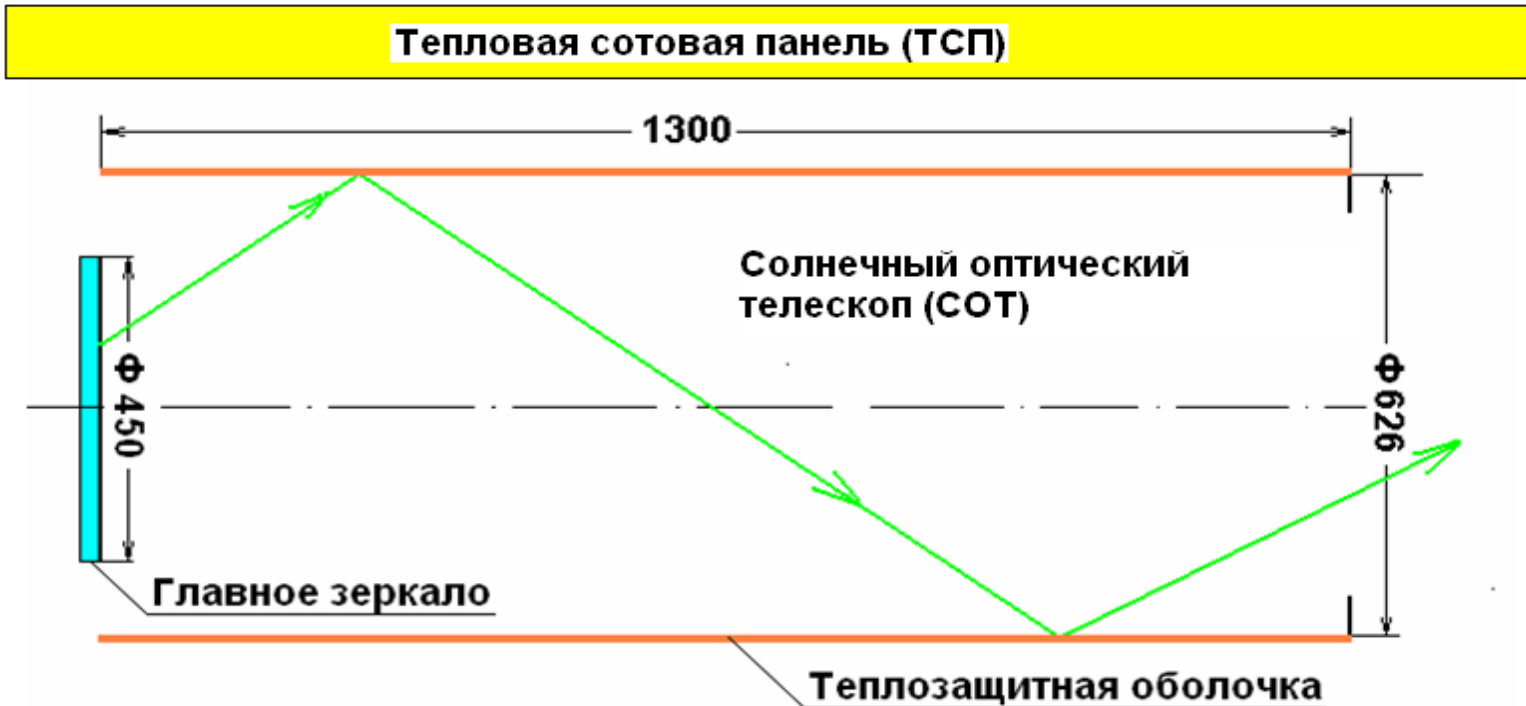
$$p_{in} \sigma T_{in}^4 + Q = H_{in}$$

$$p_{out} \sigma T_{out}^4 - Q = H_{out}$$

$$Q = \kappa(T_{in} - T_{out})$$

Здесь p_{in} , p_{out} – степени черноты внутреннего и внешнего слоев ЭВТИ, H_{in} , H_{out} – потоки энергии, поглощенные внутренним и внешним слоями, $\kappa = 1/R$ – коэффициент теплопроводности ЭВТИ.

Модель СОТ



Теплозащитная оболочка изготавливается из ЭВТИ.

Удельное термическое сопротивление ЭВТИ принимается равным $R = 30 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$. Степень черноты внешней и внутренней пленок ЭВТИ принимается равной 0.1, т.е. теплозащитная оболочка является хорошо отражающим покрытием. Поэтому при расчете потока тепла надо учитывать как эффекты поглощения, так и переотражения.

Итерационный алгоритм

0. Полагаем температуру зеркала заданной, температуру оболочки нулевой.
1. Рассчитываем поток излучения, приходящий на оболочку от зеркала.
2. Рассчитываем распределение температуры на оболочке.
3. Рассчитываем поток излучения, исходящий от оболочки и приходящий на зеркало и саму оболочку.
4. Рассчитываем изменение температуры зеркала и оболочки. Если оно мало, прекращаем итерации. В противном случае возвращаемся к пункту 1.

Выводы

- Коллектив разработчиков космического магнитографа “ТАХОМАГ” крайне заинтересован в сотрудничестве с фирмой “Би Питрон” в деле создания полной тепловой модели прибора.
- **ЗАРАНЕЕ БЛАГОДАРИМ!**