

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ИНФРАКРАСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ В ВК-600/300

© 2017

- Д. Б. Добрица** кандидат технических наук, ведущий инженер-математик отдела исследования внешних воздействующих факторов и проектирования защиты от них; Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина, г. Химки, Московская область; dobrica@laspace.ru
- А. А. Ушакова** инженер-конструктор 1-й категории отдела теплового проектирования средств обеспечения теплового режима КА и средств выведения; Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина, г. Химки, Московская область; ushakova-al@rambler.ru
- А. Ф. Шабарчин** кандидат технических наук, ведущий конструктор отдела теплового проектирования средств обеспечения теплового режима КА и средств выведения; Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина, г. Химки, Московская область; shafi@laspace.ru
- Б. Ю. Яценко** кандидат технических наук, ведущий инженер отдела исследования внешних воздействующих факторов и проектирования защиты от них; Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина, г. Химки, Московская область; godn@mail.ru

Рассматривается решение проблемы моделирования воздействия лучистых тепловых потоков от источников инфракрасного излучения на поверхности КА и их модулей при проведении комплексных испытаний в ВК 600/300. В качестве решения задачи оперативного получения результатов расчёта плотности тепловых потоков излучения на элементы поверхности космического аппарата (КА) при проведении комплексных испытаний предложено использование эмпирических зависимостей. Представлено описание особенностей конструкции модуля ИКИ, необходимое при построении математической модели распределения теплового излучения. Показана схема размещения модулей ИКИ в ВК 600/300 и определены основные энергетические характеристики, рассчитываемые при моделировании лучистых тепловых потоков. Приведены полученные эмпирические зависимости для расчёта энергетических характеристик модулей ИКИ от подводимой к излучающим элементам электрической мощности. Показаны результаты расчёта распределения плотности потока ИК излучения с использованием эмпирических зависимостей в сравнении с результатами расчёта с помощью программного комплекса и с полученными экспериментальными измерениями.

Вакуумная камера; плотность потока теплового излучения; космический аппарат; модуль инфракрасного излучения; программный комплекс.

Цитирование: Добрица Д.Б., Ушакова А.А., Шабарчин А.Ф., Яценко Б.Ю. Моделирование внешних тепловых воздействий от инфракрасных источников излучения при испытаниях ракетно-космической техники в ВК-600/300 // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 3. С. 27-38. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-27-38

Введение

При проведении электрических и тепловых испытаний создаваемых крупногабаритных космических аппаратов и их модулей используется вакуумная камера ВК 600/300 отраслевой стандовой базы предприятия ФКП «НИЦ РКП».

В процессе испытаний возникает необходимость в моделировании воздействия лучистых тепловых потоков на наружные поверхности КА: солнечные тепловые потоки – прямые и отражённые от планеты; собственное излучение планеты; излучение и переотражение от крупногабаритных элементов КА, отсутствующих в составе экспериментальной сборки. Суммарная эпюра внешних тепловых потоков, приходящих на наружные поверхности объекта испытаний, для различных режимов экспериментальной отработки определяется расчётом и носит сложный, переменный по времени характер. Воспроизведение данной эпюры внешних тепловых потоков должно осуществляться имитаторами ВК – имитатором солнечного излучения (ИСИ) и инфракрасным имитатором (ИКИ).

Комплексные электрические испытания КА с точки зрения обеспечения его теплового режима включают три основных этапа:

- вывод ВК на режим;
- отработка штатной циклограммы включения бортовой аппаратуры при предельно низких и предельно высоких температурах в режиме термоциклирования;
- отогрев ВК.

Обеспечение теплового режима КА на данных этапах осуществляется как средствами КА, так и имитаторами ВК 600/300 (ИКИ и ИСИ).

Расчёт излучения имитатора ИКИ ВК 600/300 (модуля ИКИ), необходимого при моделировании внешних тепловых потоков на объект испытаний, представляет сложную задачу из-за необходимости учитывать реальные оптические характеристики поверхностей и многократного переотражения между ними [1].

При проведении расчёта излучения использовался метод прямого хода луча с использованием законов случайного направления излучения, метод «Монте-Карло» для диффузно излучающих и отражающих поверхностей и метод, основанный на законах зеркального отражения для поверхностей, имеющих зеркальную составляющую в отражении излучения [2]. Ввиду присущей большой длительности расчёта методом «Монте-Карло» и из-за большого количества модулей ИКИ в вакуумной камере ВК 600/300 (рис.1, 2) возникла необходимость в выводе по результатам экспериментальных измерений и проведённых расчётов относительно простых эмпирических формул, необходимых для повышения оперативности получения результатов расчёта тепловых потоков излучения. Поэтому результаты проведённых измерений и расчёта являлись исходными данными для выведения эмпирических соотношений по распределению тепловых потоков [3].

Схема размещения модулей ИКИ в вакуумной камере ВК 600/300

Система ИКИ ВК 600/300 состоит из модулей, размещённых на цилиндрическом стальном каркасе. Каркас имеет приваренные кронштейны и платы для прокладки, фиксации и подсоединения модулей ИКИ, а также держатели модулей ИКИ с механизмами юстировки. Цилиндрический каркас размещается в рабочем объёме ВК 600/300 перед азотными экранами таким образом, что модули ИКИ условно располагаются вдоль образующих поверхности кругового цилиндра диаметром 5,2 м, соосного с цилиндрическим корпусом ВК 600/300 (рис. 1).

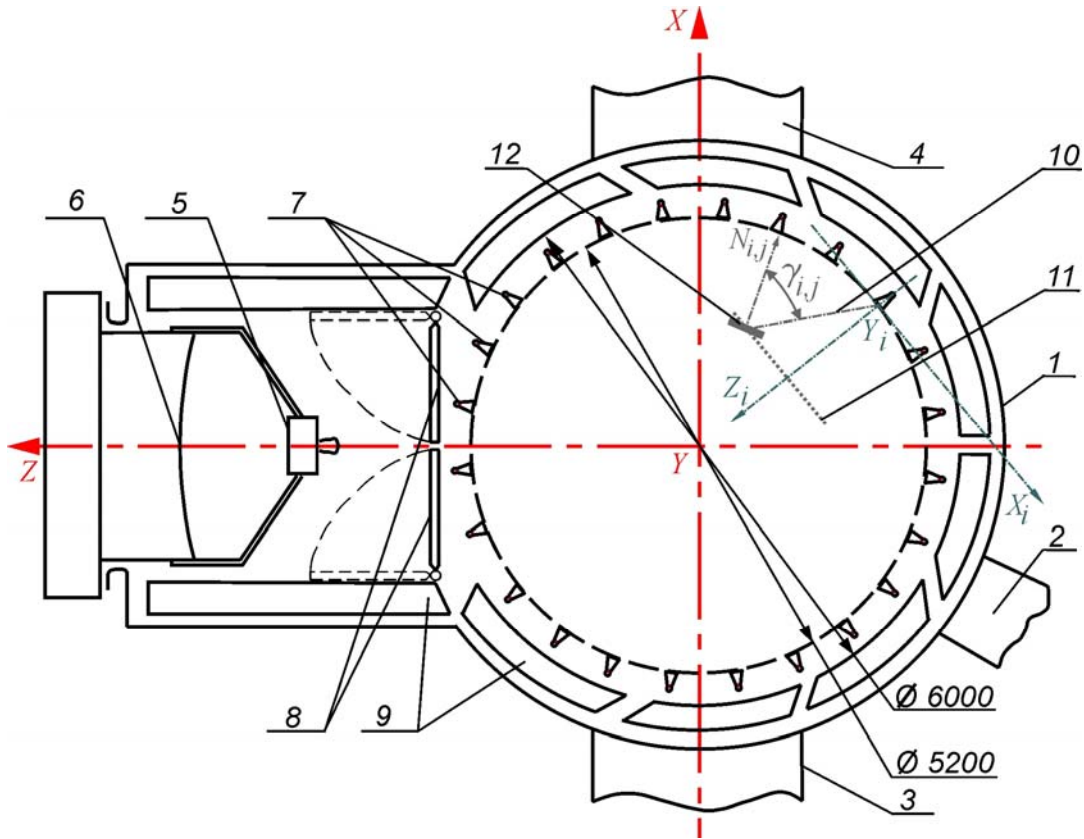


Рис. 1. Схема ВК 600/300 в поперечном разрезе:

1 – стенки ВК; 2 – входной шлюз; 3 – правый коллектор; 4 – левый коллектор; 5 – излучатель ИСИ; 6 – зеркальный отражатель ИСИ; 7 – модули ИКИ; 8 – створки ИСИ; 9 – азотные экраны; 10 – расстояние от начала локальной СК (X_i, Y_i, Z_i) , связанной с i -м модулем ИКИ до центра элемента воспринимающей поверхности dS_j ; 11 – условная плоскость, проходящая через центр элемента воспринимающей поверхности dS_j и перпендикулярная оси Z_i локальной СК; 12 – элемент воспринимающей поверхности dS_j

На рис. 1 показана локальная система координат (ЛСК), связанная с размещением модуля ИКИ в ВК, и угол $\gamma_{i,j}$ между нормалью $N_{i,j}$ к элементу воспринимающей поверхности (ЭВП) dS_j и направлением к началу ЛСК.

Модули по высоте размещаются в 8 ярусах (рис. 2). В каждом ярусе находится по 24 расположенных равномерно по окружности модуля ИКИ (рис. 1). Нижние концы модулей первого яруса возвышаются над плоскостью опорно-поворотного устройства (ОПУ) на расстояние 1 м. ИКИ имеет два исполнения: первое – модули ИКИ образуют замкнутую цилиндрическую поверхность, второе – модули ИКИ не устанавливаются в зоне оптического отсека ВК 600/3000, когда в процессе испытаний предусмотрено включение ИСИ.

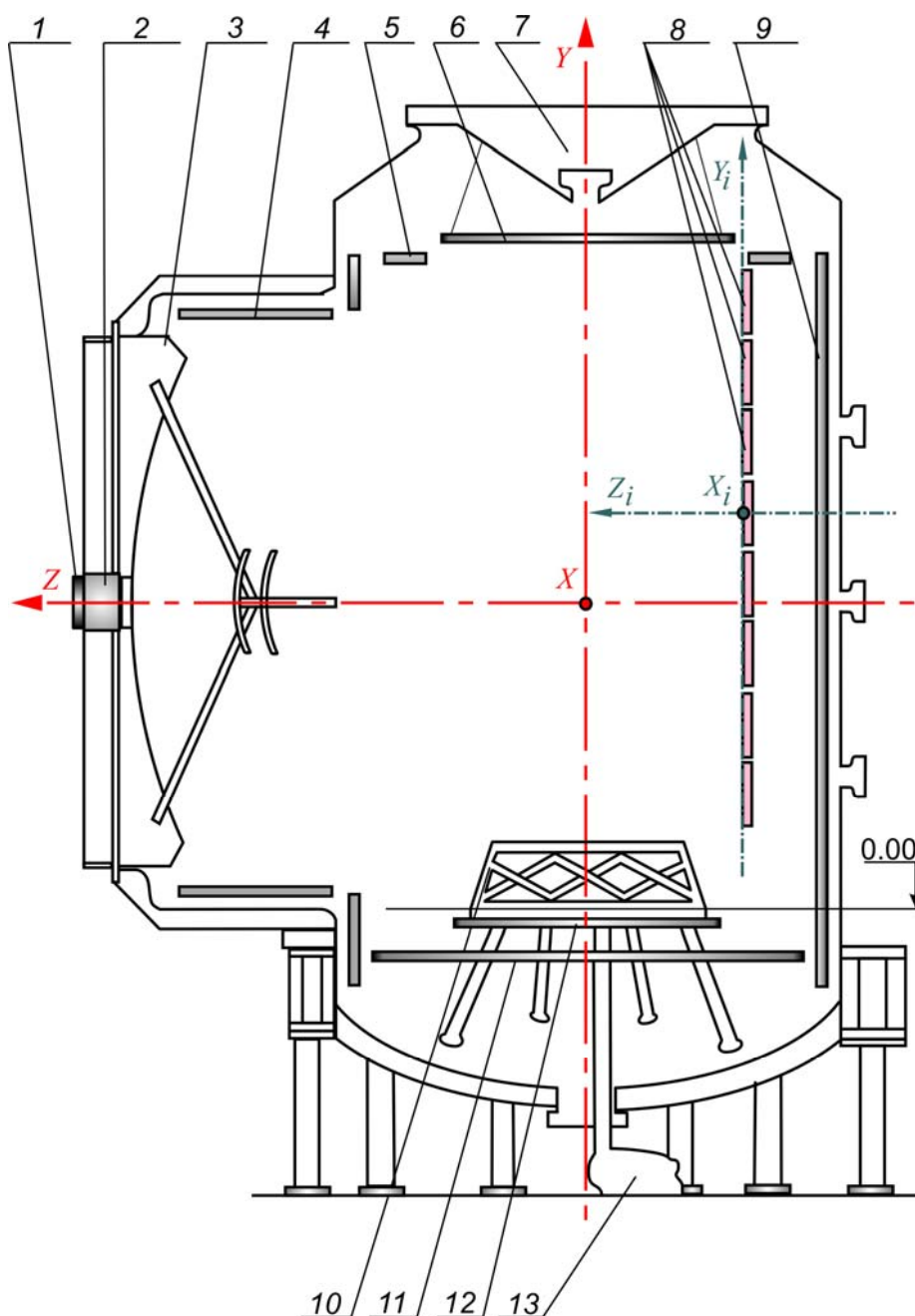


Рис. 2. Расположение модулей ИКИ в рабочем объеме ВК 600/300:
 1 – заслонка; 2 – входной блок ИС-500-1Б; 3 – блок зеркал ИС-500-1А; 4 – экраны оптического отсека; 5 – кольцевой экран; 6 – экран крышки; 7 – крышка; 8 – модули ИКИ; 9 – цилиндрические экраны; 10 – опора под изделие; 11 – донный экран; 12 – опорно-поворотное устройство (ОПУ); 13 – привод ОПУ

Особенности конструкции модуля ИКИ

Модули ИКИ (рис. 3) содержат излучатели в виде токопроводящих стеклографитовых лент шириной 20 мм. В инфракрасной области спектра такие излучатели считаются серыми с интегральной степенью черноты приблизительно равной 0,9. Излучатели 1 размещаются в отражателях 2 (рис. 3), изготовленных из алюминиевого сплава АМЦ в виде профиля ПС 835-928. Ширина выходного сечения отражателя такого модуля составляет 84 мм. Угол наклона прямолинейных участков отражателя составляет 15° к продольной оси модуля ИКИ (рис. 3).

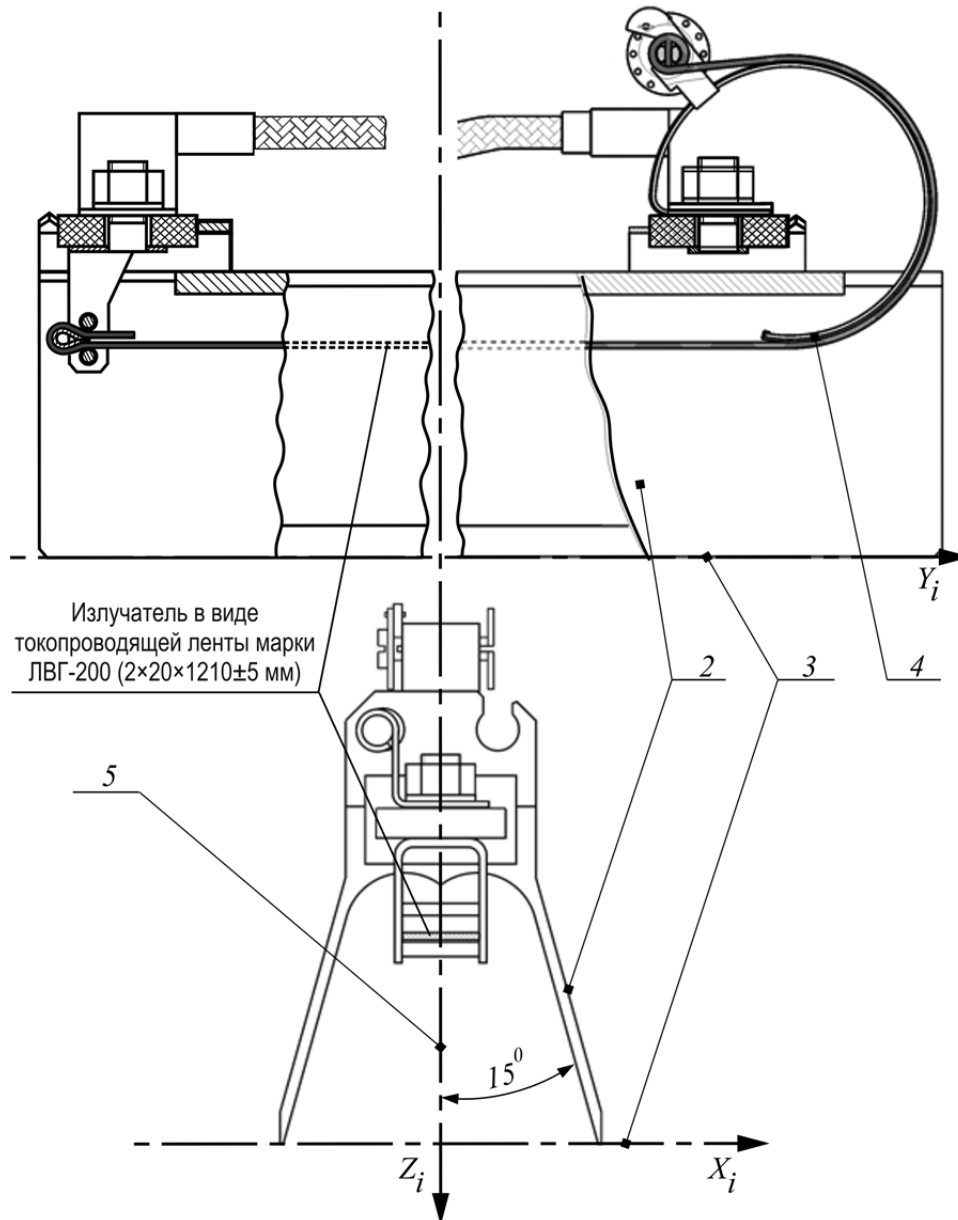


Рис. 3. Внешний вид модуля ИКИ:

1 – излучатель в виде токопроводящей ленты марки ЛВГ-200 ($2 \times 20 \times 1210 \pm 5$ мм); 2 – отражатель из алюминиевого сплава АМЦ; 3 – оси X_i, Y_i ЛСК в плоскости среза отражателя модуля ИКИ; 4 – токоподвод, выполненный в виде дугообразной пружины; 5 – ось Z_i ЛСК, совпадающая с нормалью к срезу отражателя

Для постоянства индикатрисы излучения модуля ИКИ на всех уровнях подводимой к нему мощности его конструкция обеспечивает неизменное взаимное расположение излучателя 1 и отражателя 2 (рис. 3). Для этого один из токоподводов, выполненный в виде дугообразной пружины 4 (рис. 3), при удлинении излучателя в процессе нагрева разжимается и продолжает натягивать излучатель с необходимым усилием.

Внутренняя поверхность отражателя модуля ИКИ полирована и имеет высокую отражательную способность. Наружная поверхность для снижения температуры отражателя и доли его собственного излучения в индикатрисе покрыта окисью нихрома с высокой степенью черноты. Измеренные значения интегральной степени черноты ε

внутренней и наружной поверхностей отражателя равны: $\epsilon_{\text{внутр}} = 0,06$ и $\epsilon_{\text{нар}} = 0,8$. Замеры проводились при комнатной температуре в ИК диапазоне длин волн.

В расчётах принимается ЛСК, одна из осей которой (ось Z_i рис. 4) совпадает с нормалью к срезу модуля ИКИ, а две другие лежат в плоскости среза модуля ИКИ (рис. 4).

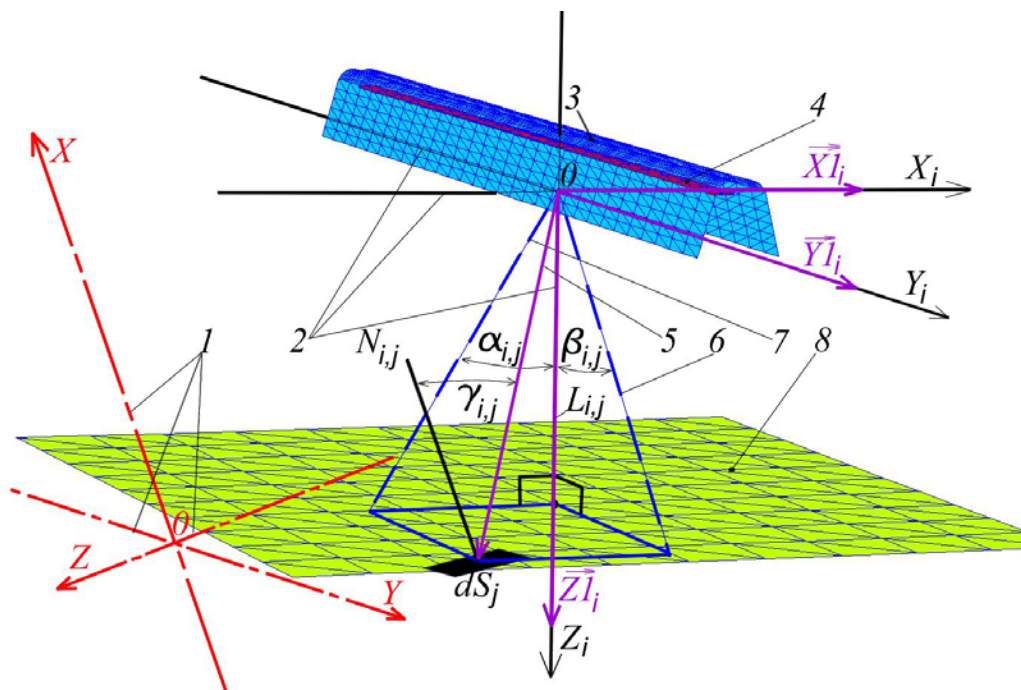


Рис. 4. Расположение ЛСК относительно модуля ИКИ и основной СК:

1 – оси основной СК; 2 – оси ЛСК i -го модуля ИКИ; 3 – модель отражателя модуля ИКИ; 4 – модель излучателя модуля ИКИ; 5 – направление от начала ЛСК до центра ЭВП $dS_{i,j}$ (вектор $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$); 6 – проекция вектора $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$ на плоскость пересечения осей OY_i и OZ_i ЛСК; 7 – проекция вектора $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$ на плоскость пересечения осей OX_i и OZ_i ЛСК; 8 – условная плоскость, перпендикулярная оси OZ_i ЛСК и проходящая через центр ЭВП dS_j

Определение основных энергетических характеристик модуля ИКИ

Основными определяемыми энергетическими характеристиками модуля ИКИ являются:

- плотность потока теплового излучения от модуля ИКИ $E_{n0,i}$ (Вт/м²) в направлении центральной оси Z_i ;
- плотность потока теплового излучения от модуля ИКИ $E_{n,i,j}$ (Вт/м²) в направлении к ЭВП dS_j (м²) в зависимости от $E_{n0,i}$ и углового положения (α_i, β_i , град) центра ЭВП dS_j в ЛСК;
- плотность потока теплового излучения от модуля ИКИ $E_{i,j}$ (Вт/м²) в направлении к произвольно расположенному ЭВП dS_j в зависимости от $E_{n,i,j}$ и углового положения ЭВП dS_j (γ_i , град).

Исходными данными для определения энергетических характеристик модуля ИКИ являются (рис. 4):

- электрическая мощность P_i (Вт), подводимая к излучающему элементу i -го модуля ИКИ;
- координаты X_{i0}, Y_{i0}, Z_{i0} – координаты начала ЛСК в основной СК;
- Xc_j, Yc_j, Zc_j , (м) – координаты центра ЭВП dS_j в основной СК;
- вектор с координатами $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$, направленный от начала ЛСК i -го модуля ИКИ к центру ЭВП dS_j ;
- вектор с координатами $\{k_{i,j}, l_{i,j}, n_{i,j}\}$, направленный от центра ЭВП dS_j к вершине нормали;
- координаты трёх векторов $\vec{X}1_i, \vec{Y}1_i, \vec{Z}1_i$ в направлении осей $0X_i, 0Y_i, 0Z_i$ i -й ЛСК (для каждого i -го модуля ИКИ) в основной СК.

Уравнение плоскости, образованной пересечением векторов $\vec{X}1_i, \vec{Y}1_i, \vec{Z}1_i$ (любые два из которых лежат в одной плоскости), в координатной форме имеет вид:

$$A_i x + B_i y + C_i z + D_i = 0, \quad (1)$$

где $\{A_i, B_i, C_i\}$ – координаты вектора нормали к плоскости, соответствующие координатам одного из трёх векторов $\vec{X}1_i, \vec{Y}1_i, \vec{Z}1_i$, не лежащего в этой плоскости.

По этим заданным параметрам рассчитываются следующие значения (рис. 4):

- угловое расстояние $\alpha_{i,j}$ (град), отсчитываемое от нормали к плоскости среза модуля ИКИ (оси $0Z_i$ ЛСК) к проекции вектора $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$ на плоскость пересечения осей $0X_i$ и $0Z_i$ ЛСК;
- угловое расстояние $\beta_{i,j}$ (град), отсчитываемое от нормали к плоскости среза модуля ИКИ (оси $0Z_i$ ЛСК) к проекции вектора $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$ на плоскость пересечения осей $0Y_i$ и $0Z_i$ ЛСК;
- угловое расстояние $\gamma_{i,j}$ (град), отсчитываемое от нормали к плоскости ЭВП dS_j (вектора с координатами $\{k_{i,j}, l_{i,j}, n_{i,j}\}$) к вектору $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$;
- расстояние L_{ni} (м) от плоскости среза модуля ИКИ до условной плоскости, проходящей через центр элемента воспринимающей поверхности dS_j и перпендикулярной оси Z_i ЛСК.

Вследствие симметрии модели модуля ИКИ в принятой ЛСК угловые расстояния $\alpha_{i,j}$ и $\beta_{i,j}$ отсчитываются в обе стороны от оси $0Z_i$ ЛСК. При отсчёте углового расстояния $\alpha_{i,j}$ или $\beta_{i,j}$ в противоположную (от показанной на рис. 4) сторону, их числовые значения меняют знак на противоположный.

Угловые расстояния $\alpha_{i,j}$ и $\beta_{i,j}$ определяются по формуле взаимного расположения в пространстве прямой, имеющей направляющий вектор $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$, и соответствующей плоскости, заданной уравнением (1):

$$\alpha_{i,j} = \arcsin \left[\frac{|Ax_i p_{i,j} + Bx_i q_{i,j} + Cx_i r_{i,j}|}{\sqrt{Ax_i^2 + Bx_i^2 + Cx_i^2} \sqrt{p_{i,j}^2 + q_{i,j}^2 + r_{i,j}^2}} \right],$$

$$\beta_{i,j} = \arcsin \left[\frac{|Ay_i p_{i,j} + By_i q_{i,j} + Cy_i r_{i,j}|}{\sqrt{Ay_i^2 + By_i^2 + Cy_i^2} \sqrt{p_{i,j}^2 + q_{i,j}^2 + r_{i,j}^2}} \right],$$

где (в случае расположения осей ЛСК как показано на рис. 4) $\{Ax_i, Bx_i, Cx_i\}$ – координаты вектора нормали к плоскости, образованной пересечением осей $0Y_i$ и $0Z_i$; $\{Ay_i, By_i, Cy_i\}$ – координаты вектора нормали к плоскости, образованной пересечением осей $0X_i$ и $0Z_i$.

Угловое расстояние $\gamma_{i,j}$ определяется через косинус угла, образованного нормалью к плоскости ЭВП dS_j (вектором $\{k_{i,j}, l_{i,j}, n_{i,j}\}$) и вектором $\{p_{i,j}, q_{i,j}, r_{i,j}\}$:

$$\gamma_{i,j} = \arccos \left[\frac{k_{i,j} p_{i,j} + l_{i,j} q_{i,j} + n_{i,j} r_{i,j}}{\sqrt{k_{i,j}^2 + l_{i,j}^2 + n_{i,j}^2} \sqrt{p_{i,j}^2 + q_{i,j}^2 + r_{i,j}^2}} \right].$$

По координатам векторов $\vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1$ определяются параметры: A_i, B_i, C_i, D_i в уравнении (1) для плоскости среза отражателя ИКИ, и расстояние L_{ni} (рис. 4) рассчитывается по формуле:

$$L_{ni} = \left[\frac{|A_i X_{c_{i,j}} + B_i Y_{c_{i,j}} + C_i Z_{c_{i,j}} + D_i|}{\sqrt{A_i^2 + B_i^2 + C_i^2}} \right].$$

Измеренная зависимость плотности потока теплового излучения от модуля ИКИ E_{n1} ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в направлении оси $0Z_i$ от расстояния $L_{n,i}$ и от подводимой к излучающему элементу i -го модуля ИКИ электрической мощности P_i (в диапазоне 540...2900 Вт) с погрешностью до 1% может быть определена по формуле:

$$E_{n0,i} = k_{n0} \frac{P_i}{L_{n,i}^2}, \quad (2)$$

где значение k_{n0} в зависимости от расстояния $L_{n,i}$ до условной плоскости приведено на рис. 5.

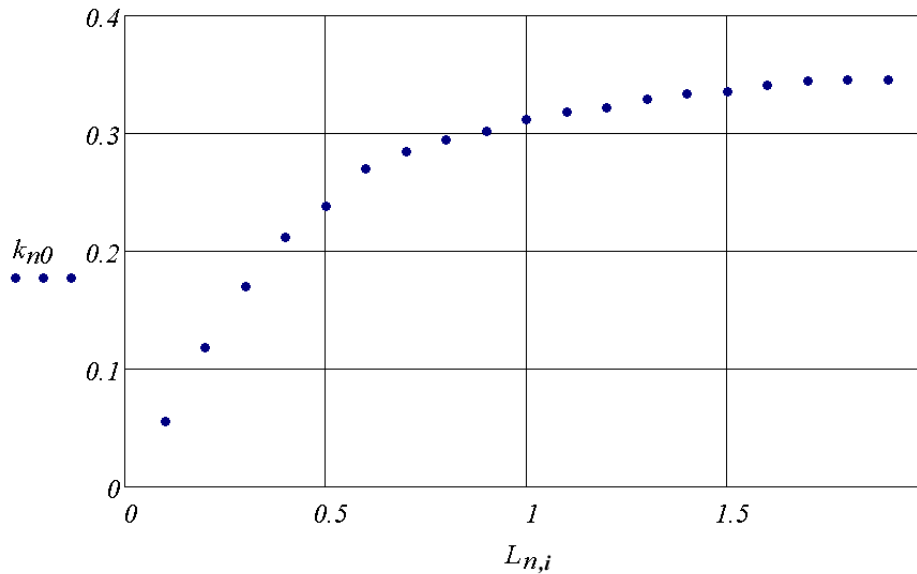


Рис. 5. Значение k_{n0} в зависимости от расстояния $L_{n,i}$ до условной плоскости

На основании проведённых измерений и полученных расчётных данных плотность потока теплового излучения от модуля ИКИ $E_{n,i,j}$ в направлении к ЭВП dS_j в зависимости от $E_{n0,i}$ и углового положения (α_i, β_i) центра ЭВП dS_j в ЛСК модуля ИКИ может быть рассчитана по приведённым в табл. 1 эмпирическим формулам.

Таблица 1. Формулы для расчёта плотности потока теплового излучения $30^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ$

№	Формула для расчёта значения плотности потока теплового излучения от модуля ИКИ E_n (Вт/м ²)	Диапазон значений α и β , в пределах которого применима формула
1	$E_n = E_{n0} \left(1,25 \left(\frac{60 - \alpha }{60} \right)^{2,3} \right) \left(1,72 \left(\frac{80 - \beta }{80} \right)^{2,1} \right)$	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ, 30^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$
2	$E_n = E_{n0} \left(1 - 0,9 \left(\frac{ \alpha }{40} \right)^2 \right) \left(1,72 \left(\frac{80 - \beta }{80} \right)^{2,1} \right)$	$0^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
3	$E_n = E_{n0} 1,25 \left(\frac{60 - \alpha }{60} \right)^{2,3} \left(1 - 0,36 \left(\frac{ \beta }{30} \right)^{3,5} \right)$	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ, 0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$
4	$E_n = E_{n0} \left(1 - 0,9 \left(\frac{ \alpha }{40} \right)^2 \right) \left(1 - 0,36 \left(\frac{ \beta }{30} \right)^{3,5} \right)$	$0^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ, 0^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$
5	$E_n \approx 0$	$ \alpha > 60^\circ, \beta > 80^\circ$

Плотность потока теплового излучения от модуля ИКИ $E_{i,j}$ в направлении к произвольно расположенному ЭВП dS_j в рабочем объёме ВК 600/300 может быть определена соотношением:

$$E_{i,j} = E_{n,i,j} \frac{\cos(\gamma_{i,j})}{\cos\left(\arctg\left[\operatorname{tg}^2(\alpha_{i,j}) + \operatorname{tg}^2(\beta_{i,j})\right]^{0,5}\right)}. \quad (3)$$

На рис. 6 приведены результаты расчёта и измеренные величины плотности потока теплового излучения E в зависимости от углового расстояния $|\alpha|$ при $|\beta| < 0,3^\circ$. Значения плотности потока E рассчитывались от модуля ИКИ в направлении к воспринимающей поверхности dS , расположенной на расстоянии 1 м с применением формул, указанных в табл. 1, и с использованием программного комплекса.

На рис. 7 приведены результаты расчёта и измеренные величины плотности потока теплового излучения E в зависимости от углового расстояния $|\beta|$ при $|\alpha| < 0,1^\circ$. Значения плотности потока E рассчитывались от модуля ИКИ в направлении к воспринимающей поверхности dS , расположенной на расстоянии 1; 1,5 и 2 м с применением формул, указанных в табл. 1, и с использованием программного комплекса.

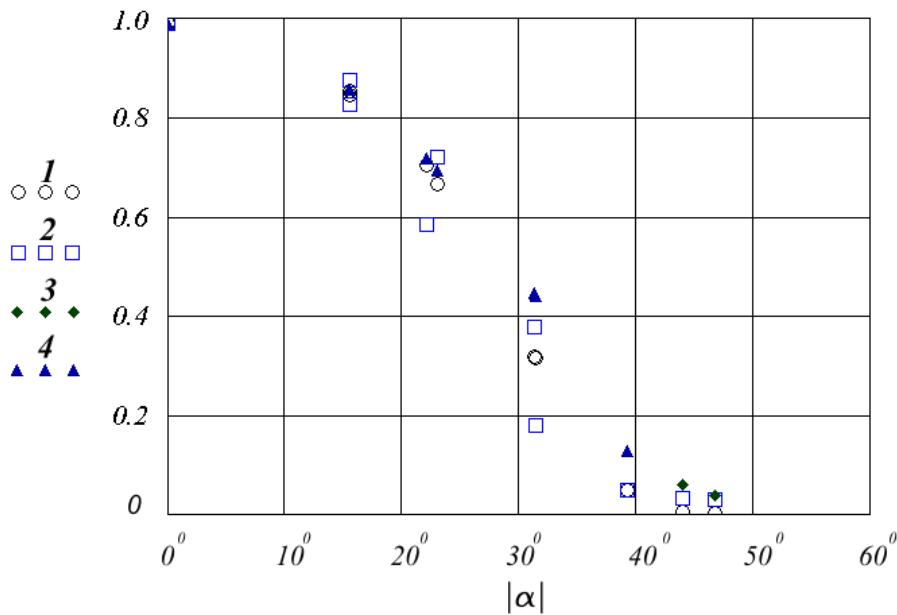


Рис. 6. Значение плотности потока теплового излучения от модуля ИКИ E в зависимости от углового расстояния $|\alpha|$ расположения центра ЭВП:
 1 – по данным, полученным с использованием программного комплекса;
 2 – по экспериментальным данным; 3 – по формуле 4 (табл. 1);
 4 – по формуле 3 (табл. 1)

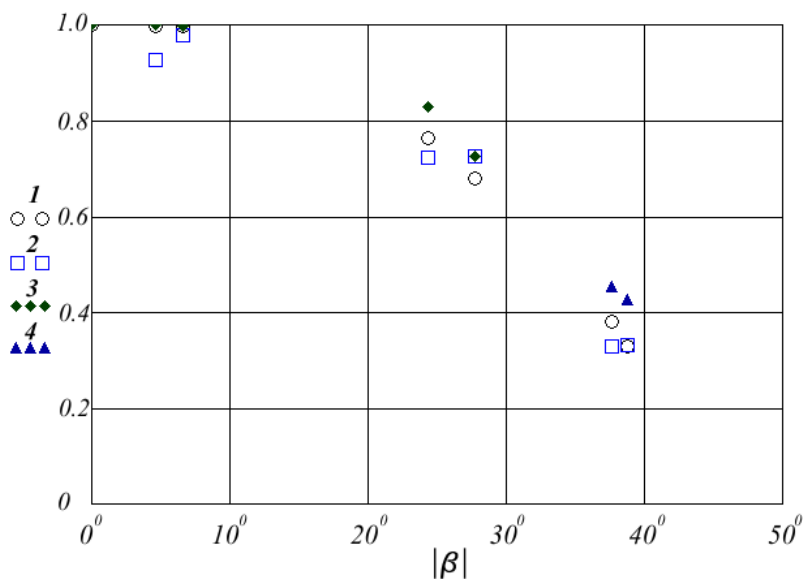


Рис. 7. Значение плотности потока теплового излучения от модуля ИКИ E в зависимости от углового расстояния $|\beta|$ расположения центра ЭВП:

- 1 – по данным, полученным с использованием программного комплекса;
 2 – по экспериментальным данным; 3 – по формуле 4 (табл. 1);
 4 – по формуле 2 (табл. 1)

Полученные эмпирические зависимости позволяют проводить расчёты, связанные с определением таких энергетических характеристик модулей ИКИ, как распределение плотности потока инфракрасного излучения, при проведении комплексных испытаний изделий космической техники в ВК 600/300. Использование формулы (3) позволяет проводить расчёт теплового излучения к произвольно расположенному ЭВП. Полученная зависимость между подводимой электрической мощностью к излучающему элементу модуля ИКИ позволяет (с использованием формулы (2) и приведённых на рис. 5 значений) определить плотность потока теплового излучения в направлении нормали к плоскости среза отражателя модуля ИКИ в зависимости от расстояния. При расчёте плотности потока инфракрасного излучения, создаваемого несколькими модулями ИКИ, задание исходных данных, связанных с геометрическими параметрами модулей ИКИ, и пересчёт угловых расстояний от модулей ИКИ осуществляются по приведённым в разделе определения основных энергетических характеристик модуля ИКИ соотношениям.

Библиографический список

1. Евдокимов И.Е., Николаенко В.С., Филиппов Г.С., Яценко Б.Ю. Расчёт пространственного распределения энергии сложного излучателя // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2013. № 1 (39). С. 214-221.
2. Лукас Дж. Теплообмен и тепловой режим космических аппаратов. М.: Мир, 1974. 544 с.
3. Яценко Б.Ю., Шабарчин А.Ф., Ушакова А.А. Развитие программного комплекса и методики расчёта распределения теплового излучения от сложного излучателя // Сб. тезисов «XLI Академические чтения по космонавтике, посвящённые памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных учёных – пионеров освоения космического пространства». М.: Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 2017. С. 430.

MODELING EXTERNAL THERMAL INFLUENCE OF INFRARED RADIATION SOURCES DURING TESTS OF ROCKET AND SPACE EQUIPMENT IN VK-600/300

© 2017

- D. B. Dobritsa** Candidate of Science (Engineering), Leading Mathematician, Department of Research of External Factors and Design of Protection against them; Lavochkin Science and Production Association, Khimki, Russian Federation; dobrica@laspace.ru
- A. A. Ushakova** Post-graduate student, design engineer of the 1st category, Department of Thermal Design of the Means for Ensuring the Thermal Regime of Spacecraft and Launch Vehicles; Lavochkin Science and Production Association, Khimki, Russian Federation; ushakova-al@rambler.ru
- A. F. Shabarchin** Candidate of Science (Engineering), Leading Designer of the Department of Thermal Design of Means for Ensuring the Thermal Regime of Spacecraft and Launch Vehicles; Lavochkin Science and Production Association, Khimki, Russian Federation; shaf@laspace.ru
- B. Yu. Yashchenko** Candidate of Science (Engineering), Leading Engineer, Department of Research of External Factors and Design of Protection against them; Lavochkin Science and Production Association, Khimki, Russian Federation; godn@mail.ru

The paper presents the solution of the problem of simulation of the effect of radiant heat fluxes from infrared sources (IRS) on the surface of spacecraft and their modules during complex tests in a vacuum chamber (VC) 600/300. We suggest using empirical dependences as a solution to the problem of promptly obtaining the results of calculating the density of thermal radiation fluxes on the elements of the surface of a space vehicle when performing complex tests. A brief description of the design features of the IRS module is presented, which is necessary for constructing a mathematical model of thermal radiation distribution. The layout of IRS modules accommodation in VC 600/300 is shown and the main energy characteristics calculated in the modeling of radiant heat fluxes are determined. The article shows the empirical dependences obtained for calculating the energy characteristics of the IRS modules on the electric power supplied to the radiating elements. The results of calculating the distribution of the IR flux density using empirical relationships are shown in comparison with the results of calculations using a software package and with the experimental measurements obtained.

Vacuum chamber; density of a thermal radiation flux; spacecraft; infrared radiation module; software package.

Citation: Dobritsa D.B., Ushakova A.A., Shabarchin A.F., Yashchenko B.Yu. Modeling external thermal influence of infrared radiation sources during tests of rocket and space equipment in VK-600/300. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 3. P. 27-38. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-27-38

References

1. Yevdokimov I.Y., Nikolaenko V.S., Filippov G.S., Yashchenko B.Yu. Calculation of spatial distribution of energy of a complex radiator. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*. 2013. No. 1 (39). P. 214-221. (In Russ.)
2. Lucas J.W. Heat Transfer and Spacecraft Thermal Control. Cambridge: MIT Press, 1971.
3. Yashchenko B.Yu., Shabarchin A.F., Ushakova A.A. Razvitie programmnoy kompleksa i metodiki rascheta raspredeleniya teplovogo izlucheniya ot slozhnogo izluchatelya. *Sbornik tezisov «XLI Akademicheskie chteniya po kosmonavtike, posvyashchennye pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva»*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2017. P. 430. (In Russ.)