

призмой Волластона // Кинематика и физика небес. тел.— 1999.—15, № 4.—С. 359—376.

2. Иванов Ю. С., Синявский И. И. Способ линеаризации дисперсии призмовой системы. // Приладобудування 2004: стан і перспективи: Зб. наук. праць. — Київ: НТУУ «КПІ», ПБФ, 2004.—С. 256.
3. Кучеров В. А. Ахроматический фазосдвигатель для вакуумного ультрафиолета // Кинематика и физика небес. тел.— 1996.—12, № 1.—С. 52—58.
4. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов: Изд. 2-е, доп. и перераб. — Л.: Машиностроение, 1975.—312 с.
5. Ivanov Yu. S., Gershberg R. E., Efimov Yu. S., Shakhovskoj N. M. High Efficiency Spectropolarimeter // Proc. SPIE-ESO Symp., Sect. AS06. Munich, March 2000.

ON-BOARD UV-SPECTROPOLARIMETER FOR MONITORING OF PLANETARY ATMOSPHERES

Yu. S. Ivanov, I. I. Sinyavsky, M. G. Sosonkin

A procedure for constructing a spectropolarimeter of heightened efficiency is considered. It is shown that a limited number of elements can perform functions of the optical reduction, dispersing block, and aberrations corrector. This approach should be of particular assistance in the case of the UV spectral region, where numerous surfaces of traditional spectropolarimeters lead to large losses. We offer a system of spaced dispersing prisms providing the equalization of dispersion, which increases further the efficiency of the instrument in the shortwave spectral region.

УДК 629.78.018

© Р. В. Гаврилов, А. М. Кислов,
Ю. А. Меленевский, А. И. Церковный

Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з криогенної техніки Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Харків

ИМИТАТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ТЕРМОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Розроблено імітатор випромінювання Землі, конструкція якого утворена системою панелей з лінійчатыми ІЧ випромінювачами, що нагріваються електричним струмом. Панелі випромінювачів закріплені на опорно-поворотному пристрої і разом з КА здійснюють програмні повороти відносно потоку випромінювання від імітатора Сонця. Імітатор відтворює на елементах КА сумарну густину поглинутих потоків власного та відбитого сонячного випромінювання від Землі на заданих витках орбіти. Наведено результати розрахунку проектних параметрів імітатора.

Имитатор излучения Земли разработан для стенда тепловакуумных испытаний космических аппаратов, который создается в ГКБ «Южное». В имитаторе для облучения КА используется управляемый поток ИК-излучения. Имитатор воспроизводит на элементах КА суммарную плотность поглощенных потоков собственного и отраженного солнечного излучения Земли на расчетных витках орбиты. Угловое распределение натуральных потоков излучения от Земли, падающих на элементы КА, не воспроизводится.

Имитатор Земли представляет собой систему панелей с дискретными линейчатыми излучателями. Излучатели нагреваются электрическим током до температур, соответствующих требуемым значениям плотностей потоков, поглощаемых элементами КА при движении на витке. Возможность использования нагреваемых линейчатых излучателей для имитации поля собственного излучения Земли рассматривалась в работах [1—4, 8]. Отличительной особенностью разработанного имитатора Земли является то, что панели излучателей закреплены на

опорно-поворотном устройстве в термовакуумной камере и вместе с КА совершают программные повороты относительно потока излучения от имитатора Солнца. При этом в течение цикла программного поворота (испытательный виток) может быть реализована временная зависимость поглощенного потока от Земли, соответствующая заданной ориентации КА на витке. Это позволяет воспроизводить нестационарные тепловые режимы КА при согласованном изменении поглощенных его элементами потоков излучения от имитаторов Земли и Солнца.

В дальнейшем будем рассматривать вариант конструктивной схемы и расчетные параметры имитатора Земли применительно к тепловым испытаниям проектируемого микроспутника. Микроспутник имеет форму параллелепипеда с четырьмя панелями солнечных батарей. Корпус КА, состоящий из плиты установочной, тепловых экранов и основания, имеет размеры 740 × 740 × 720 мм. Панели солнечных батарей (СБ) имеют размер 576 × 695 мм. Оптические характеристики элементов КА: стенки корпуса — $\varepsilon = 0,9$, $A_s = 0,96$; рабочие стороны

панелей СБ — $\varepsilon = 0.88$, $A_s = 0.88$; нерабочие стороны панелей СБ — $\varepsilon = 0.95$, $A_s = 0.9$.

В орбитальном полете продольная ось КА (установочная плита) направлена в надир. Орбита солнечно-синхронная с наклоном 98.06° и периодом обращения 98 мин. Рассматривается виток, для которого угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце равен $\beta = 22.5^\circ$; Солнце находится вблизи точки весеннего равноденствия. Облученности элементов КА на витке потоками излучения от Земли вычислялись с помощью пакета программ TRASSA [6]. Расчетные значения облученности элементов КА на полувитке и соответствующие плотности q падающих потоков от имитатора Земли на «испытательном» полувитке в опорно-поворотном устройстве (ОПУ) приведены в табл. 1.

Схема расположения панелей излучателей приведена на рис. 1. Панели разделены на три секции, в каждой секции излучатели имеют свою, но одинаковую температуру. Вид микроспутника с панелями излучателей секции 1 и секции 3 приведен на рис. 2 и рис. 3.

Секция 1 облучает установочную плиту КА и частично боковые стенки корпуса. Она состоит из панели 1.1, в которой 16 излучателей-полосок, и четырех боковых панелей-козырьков 1.2, которые имеют по 4 излучателя каждая. Панели 1.2 расположены под углом 60° к плоскости панели 1.1. Панель излучателей 1.1 имеет размеры 780×780 мм, панели 1.2 — 155×780 мм (без учета обрамляющих элементов конструкции); излучатели этой секции имеют размер 5×780 мм. Плоскость излу-

челей панели 1.1 расположена на расстоянии 350 мм от плиты установочной корпуса КА.

Секция 2 облучает боковые стенки корпуса и нерабочие стороны панелей СБ. Секция состоит из четырех панелей по 8 излучателей в каждой. Панели имеют размеры 465×780 мм, излучатели — 5×780 мм. Плоскости излучателей параллельны боковым стенкам корпуса и расположены на расстоянии 330 мм от стенок.

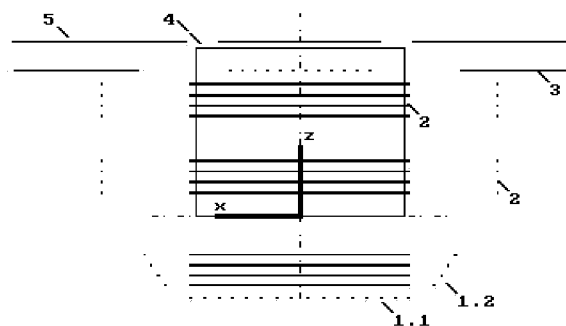


Рис. 1. Схема системы излучателей имитатора Земли: 1.1, 1.2 — панели секции 1, 2, 3 — панели секций 2 и 3, 4 — корпус КА, 5 — панели СБ

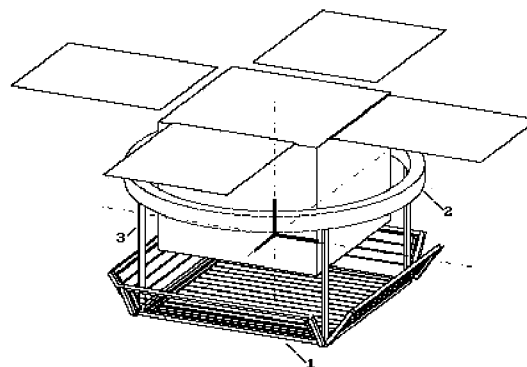


Рис. 2. Микроспутник с панелями излучателей секции 1: 1 — панели секции 1, 2 — силовой пояс, 3 — стойки крепления панелей

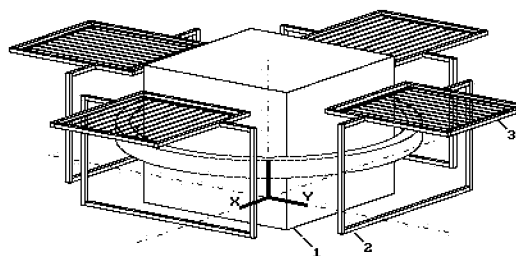


Рис. 3. Микроспутник с панелями излучателей секции 3 (СБ не показаны): 1 — корпус, 2 — рамы панелей секции 2, 3 — панели излучателей секции 3

Таблица 1. Плотности потоков, падающих на тепловые экраны, плиту установочную и нерабочие стороны панелей СБ

Истинная аномалия	Угол поворота КА в ОПУ	q, Вт/м ²		
		Тепловые экраны	Плита установочная	Панели СБ
0...50°	—	55	188	152
50°	125°	55	188	152
60°	115°	55	188	152
70°	105°	55	188	152
80°	95°	57	192	155
90°	85°	67	225	179
100°	75°	85	288	224
110°	65°	104	350	269
120°	55°	121	408	311
130°	45°	136	460	348
140°	35°	149	503	379
150°	25°	159	537	403
160°	15°	166	560	420
170°	5°	169	571	428
175°	0°	170	573	430
180°	-5°	169	571	428

Секция 3 облучает нерабочие стороны панелей СБ и боковые стенки корпуса КА. Она содержит четыре панели по 12 излучателей. Размеры панели — 500 × 520 мм, излучателей — 5 × 520 мм. Плоскости расположены на расстоянии 120 мм от панелей СБ.

Излучатели выполнены из лент нержавеющей стали 12Х18Н10Т толщиной 0.1 мм. На рабочие стороны лент (обращенные в сторону КА) нанесено покрытие с параметрами $\varepsilon = 0.85$, $A_s = 0.9$. Тыльная сторона лент электрополирована, и при температурах 200—400 °С имеет параметры $\varepsilon = 0.2$, $A_s = 0.5$ [7]. Элементы конструкции, на которых закреплены излучатели и панели, изготовлены из нержавеющей стали. Поверхности элементов, обращенные в сторону КА, электрополированы, и при температурах не выше 300 К имеют параметры $\varepsilon = 0.15$, $A_s = 0.38$ [5]. Внешние поверхности элементов покрыты краской АК-512, для которой $\varepsilon = 0.9$, $A_s = 0.25$.

Решение задачи лучистого теплообмена в системе «имитатор Земли — КА» определяется системой уравнений для плотностей потоков q_i , падающих на установочную плиту ($i = 1$), тепловые экраны ($i = 2$) и нерабочие стороны панелей солнечных батарей ($i = 3$):

$$\begin{aligned} q_1 \varepsilon_1 F_1 &= \Delta F_{s1} \varepsilon^+ \sigma T_{s1}^4 (\varphi_{s.1.1-1}^+ + 4\varphi_{s.1.2-1}^+), \\ q_2 \varepsilon_2 F_2 &= \Delta F_{s1} \varepsilon^+ \sigma T_{s1}^4 \varphi_{s.1.2-2}^+ + \\ &+ \Delta F_{s2} \varepsilon^+ \sigma T_{s2}^4 \varphi_{s2-2}^+ + \Delta F_{s3} \varepsilon^- \sigma T_{s3}^4 \varphi_{s3-2}^-, \\ q_3 \varepsilon_3 F_3 &= \Delta F_{s2} \varepsilon^+ \sigma T_{s2}^4 \varphi_{s2-3}^+ + \\ &+ \Delta F_{s2} \varepsilon^- \sigma T_{s2}^4 \varphi_{s2-3}^- + \Delta F_{s3} \varepsilon^+ \sigma T_{s3}^4 \varphi_{s3-3}^+, \end{aligned} \quad (1)$$

где ε_i , F_i — степень черноты и площадь i -го элемента КА; ΔF_{s1} , ΔF_{s2} , ΔF_{s3} — площади полосок-излучателей в секциях 1, 2 и 3; ε^+ , ε^- — степени черноты рабочей и тыльной стороны излучателей; T_{s1} , T_{s2} , T_{s3} — температура излучателей в секциях 1, 2 и 3; $\varphi_{s.1.1-1}^+$, $\varphi_{s.1.2-1}^+$ — разрешающие угловые коэффициенты (РУК) в поглощенных потоках между рабочими сторонами всех излучателей панели 1.1 и панели 1.2 и установочной плитой; $\varphi_{s.1.2-2}^+$, φ_{s2-2}^+ — РУК между рабочими сторонами всех излучателей панели 1.2 и панели секции 2 и тепловым экраном; φ_{s3-2}^- — РУК между тыльными сторонами излучателей секции 3 и тепловым экраном; φ_{s2-3}^+ , φ_{s2-3}^- — РУК между всеми рабочими и тыльными сторонами излучателей панели секции 2 и нерабочей стороной панели СБ; φ_{s3-3}^+ — РУК

между рабочей стороной всех излучателей панели секции 3 и нерабочей стороной СБ.

Температуры излучателей являются решениями системы уравнений (1) при заданных значениях $q_1(\alpha)$, $q_2(\alpha)$, $q_3(\alpha)$, где α — угол поворота КА в ОПУ. Полученные расчетные значения температуры излучателей в секциях приведены в табл. 2.

Затенение панелями имитатора криоэкранов камеры оценивалось относительным уменьшением РУК излучения между элементами КА и криоэкраном. Коэффициент затенения для i -го элемента КА определяется выражением $\delta_{c,i} = (\varphi_{i-c,o} - \varphi_{i-c,p}) / \varphi_{i-c,o}$; индексы «о» и «р» в разрешающих коэффициентах $\varphi_{i-c,o}$, $\varphi_{i-c,p}$ соответствуют вариантам КА без панелей и с панелями излучателей. Для выбранных элементов КА определялся средний коэффициент затенения криоэкранов $\delta_{c,КА}$. Расчетное значение среднего коэффициента затенения криоэкранов для плиты установочной, тепловых экранов и нерабочих сторон панелей солнечных батарей $\delta_{c,КА} \approx 0.19$. Для всех элементов КА, включая основание корпуса и рабочие стороны панелей СБ, коэффициент $\delta_{c,КА} \approx 0.12$.

Получены оценки коэффициентов затенения панелями имитатора Земли потоков излучения от имитатора Солнца, падающих на элементы КА. Коэффициент затенения для i -го элемента КА определяется как $\delta_{s,i} = (E_{i,0} - E_{i,p}) / E_{i,0}$, где $E_{i,0}$ и $E_{i,p}$ — освещенности i -го элемента для вариантов КА без панелей и с панелями излучателей имитатора Земли. В качестве модели имитатора Солнца рассматривался диск, установленный на фланце вакуумной камеры, с равномерной поверхностной плот-

Таблица 2. Температура излучателей в секциях имитатора Земли в зависимости от угла α поворота КА в опорно-поворотном устройстве (v — истинная аномалия)

v	α	t , мин	T_{s1} , К	T_{s2} , К	T_{s3} , К
0...50°	—	—	481.7	446.8	470.5
50°	-125°	0	481.7	446.8	470.5
60°	-115°	2.72	481.7	446.8	470.5
70°	-105°	5.44	481.7	446.8	470.5
80°	-95°	8.16	484.3	451.3	472.6
90°	-85°	10.88	503.8	470.2	489.6
100°	-75°	13.60	535.9	498.9	517.8
110°	-65°	16.32	562.7	525.2	541.7
120°	-55°	19.04	584.7	545.4	561.7
130°	-45°	21.76	602.5	561.6	577.6
140°	-35°	24.48	616.1	574.7	589.9
150°	-25°	27.20	626.3	584.1	599.0
160°	-15°	29.92	632.8	590.5	605.2
170°	-5°	32.64	635.9	593.1	608.0
175°	0°	34.00	636.5	594.1	608.5
180°	5°	35.36	635.9	593.1	608.0

ностью и углом расходимости $0 \leq \gamma \leq 4^\circ$ потока излучения. Проведены расчеты локальных значений коэффициента $\delta_{s,i}(\alpha)$ при различных значениях угла поворота α микроспутника в опорно-поворотном устройстве. Среднее значение коэффициента $\delta_{s,i}(\alpha)$ для различных затеняемых элементов КА на освещенном участке испытательного витка составляет примерно от 0.14 до 0.28. Дополнительным фактором, порождаемым панелями имитатора Земли, является незначительная паразитная засветка некоторых элементов КА, обусловленная рассеянием излучения на элементах конструкции имитатора.

1. Андрейчук О. Б., Малахов Н. Н. Тепловые испытания космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1982.— 202 с.
2. Колесников А. В. К вопросу о принципах моделирования поля интенсивности теплового излучения планет // Космич. исследов. — 1979.—17, вып. 1.—С. 146—150.
3. Колесников А. В. Методика расчета интенсивности излучения линейчатых излучателей имитаторов внешних тепловых потоков // Инж.-физ. журнал.—1983.—45, № 2.— С. 152—153.
4. Моделирование тепловых режимов космических аппаратов и окружающей его среды / Под ред. Г. И. Петрова. — М.: Машиностроение, 1971.—382 с.

5. Новицкий Л. А., Степанов Б. М. Оптические свойства материалов при низких температурах: Справочник. — М.: Машиностроение, 1980.—224 с.
6. Разработка пакета программ с автоматизированной системой формирования оптико — геометрических моделей для расчета теплообмена КА / Кислов А. М., Романенко В. Г. // Научно-технич. отчет СКТЬ по КТ ФТИНТ НАН Украины. — Харьков, 2000.—108 с.
7. Ульянов Е. А. Коррозионностойкие стали и сплавы. — М.: Машиностроение, 1980.—208 с.
8. Donato M., et al. Design of an orbital heating simulator using IR techniques // J. Environ. Sci.—1987.—30, N 3.—P. 45—49.

THE SIMULATOR OF THE EARTH'S RADIATION FOR THERMO-VACUUM TESTS OF SPACECRAFTS

R. V. Gavrilo, A. M. Kislov, Yu. A. Melenevsky, A. I. Tserkovny

We developed the simulator of the Earth's radiation as a system of panels with line IR-emitters which are heated up by an electric current. The panels of emitters are fixed on the support-rotary facility. Together with a satellite the panels make preset turns with respect to the radiation flux from the solar simulator. The simulator reproduces on satellite elements summarized density of the absorbed fluxes of the Earth's emission and reflected sunlight from the Earth on the preset revolutions of the orbit. The results of our calculation of design parameters of the simulator are given.

УДК 523.72: 629.7.018

© Р. В. Гаврилов, А. М. Кислов, В. Г. Романенко

Спеціальне конструкторсько-технологічне бюро з криогенної техніки Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, Харків

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛУЧИСТЫХ ПОТОКОВ В ИМИТАТОРАХ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Розроблено методику комп'ютерного моделювання процесу променистого перенесення у дзеркально-лінзових оптичних системах імітаторів сонячного випромінювання. У референтній площині імітатора обчислюються розподіл освітленості та її нерівномірність, середня освітленість і максимальний кут розбіжності світлового потоку. Наведено результати розрахунку імітатора з багатомодульною оптичною системою.

В имитаторах солнечного излучения (ИСИ) высокого качества используются сложные зеркально-линзовые оптические системы, которые содержат: блок источников излучения, коллекторные отражатели, оптический интегратор, входное окно вакуумной камеры, коллимационное зеркало [1, 4, 6, 8, 9]. Возможны варианты оптических систем без интегратора и/или коллимационного зеркала, многомодульные схемы с индивидуальными оптическими системами. Источником излучения в отдельном световом канале чаще всего служит короткодуговая ксеноновая лампа, установленная в фокусе эллип-

соидного отражателя. В ИК-имитаторах источниками излучения могут быть лампы накаливания и нагреватели с отражателями.

В качестве контрольной зоны, для которой указываются определенные характеристики ИСИ, рассматривается область заданного диаметра (мишень) в референтной плоскости имитатора. В области мишени требуется обеспечить основные характеристики светового потока: спектральный состав, близкий к солнечному, заданную среднюю освещенность, допустимые неравномерность освещенности и угол расходимости пучка (максимальный угол между све-