

БОРТОВАЯ ОПТИКО-РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СИСТЕМА

М. В. Ермолаев¹, Д. И. Марарескул¹, Е. В. Ислентьев¹, А. М. Алешечкин²

¹ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева»
Российская Федерация, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52

E-mail: ermakc@iss-reshetnev.ru

²Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, 660074, Красноярск, ул. Киренского, 28

Рассмотрена проблема защиты геостационарных космических аппаратов (КА) от космического мусора, в том числе от геостационарных спутников, не увенных на орбиту захоронения. Для обеспечения безопасности КА необходима совместная работа нескольких бортовых систем. Бортовая оптико-радиолокационная система предназначена для обнаружения космических объектов и определения координат. Рассмотрены преимущества комплексирования оптической и радиолокационной аппаратуры, принципы работы и варианты построения бортовой оптико-радиолокационной системы геостационарного космического аппарата. Проведен сравнительный анализ вариантов построения, приведены структурные схемы. Рассмотрены точностные характеристики, проведена оценка потребляемой мощности и массы системы.

Ключевые слова: космический мусор, бортовые системы космических аппаратов, бортовые радиолокационные системы.

AN ONBOARD OPTICAL AND RADAR SYSTEM

M. V. Ermolaev¹, D. I. Marareskul¹, E. V. Islentev¹, A. M. Aleshechkin²

¹JSC "Information satellite system" named after academician M. F. Reshetnev"
52, Lenin str., Jeleznogorsk, 662971, Russian Federation. E-mail: ermakc@iss-reshetnev.ru

²Siberian Federal University

28, Kirenskogo str., Krasnoyarsk, 660074, Russian Federation

The article considers the problem of GEO satellites defense against space debris like the satellites which have not been relocated to the storage orbit. A joint work of several satellite systems is necessary to provide the satellite safety in the space. The onboard optical and radar system is intended for the detection of the space objects and coordinates measurement. The authors consider the advantages of optical and radar equipment combining, operational principle and versions of the structure. The block diagrams for versions of the structure are considered. The authors consider the accuracy characteristics and estimate a system mass and power consumption.

Keywords: space debris, satellite onboard systems, onboard radar systems.

Спутниковая связь и вещание с геостационарной орбиты (ГСО) в настоящее время является коммерчески выгодным, динамично развивающимся видом космической деятельности. Однако с увеличением количества космических аппаратов (КА), в том числе размещенных на геостационарной орбите, все острее встает проблема засорения околоземного космического пространства.

Космическим мусором называют вышедшие из строя космические аппараты, отработавшие ракетные и прочие устройства, их обломки и т. п., остающиеся на околоземных орбитах. В последнее время космический мусор стал представлять все большую опасность для вновь запускаемых космических аппаратов, но приемлемые способы борьбы с ним пока не разработаны [1].

Космические объекты искусственного происхождения сосредоточены преимущественно в трех областях: на орбитах до 5 000 км, около 20 000 км и около 35 000 км (рис. 1) [2]. Таким образом, геостационар-

ная орбита с высотой 35 785 км является одним из поясов с повышенной концентрацией космического мусора. Следует отметить, что практически все объекты космического мусора на ГСО остаются в районе этой орбиты навсегда, накапливаясь со временем численно и увеличивая вероятность столкновения с КА [3]. Так, в 2012 г. с геостационарной орбиты на орбиту захоронения не было уведено четыре вышедших из строя космических аппарата, а в общей сложности в области геостационарной орбиты в настоящее время находится 178 неуправляемых спутников [4]. Скорость этих аппаратов относительно КА на ГСО в связи с эволюцией орбиты может достигать 300 м/с, поэтому неуправляемые КА представляют серьезную угрозу для спутников, функционирующих на орбите по целевому назначению.

Для обеспечения безопасности геостационарных КА необходимо производить непрерывный контроль окружающего пространства спутника и оперативно принимать решения о коррекции орбиты аппарата

в случае возникновения угрозы столкновения с неуправляемыми космическими объектами. Эти функции в полной мере может осуществлять система, расположенная на борту космического аппарата, поскольку наземные средства не обладают достаточной точностью и оперативностью обнаружения и определения орбиты объектов, угрожающих безопасности геостационарного спутника.

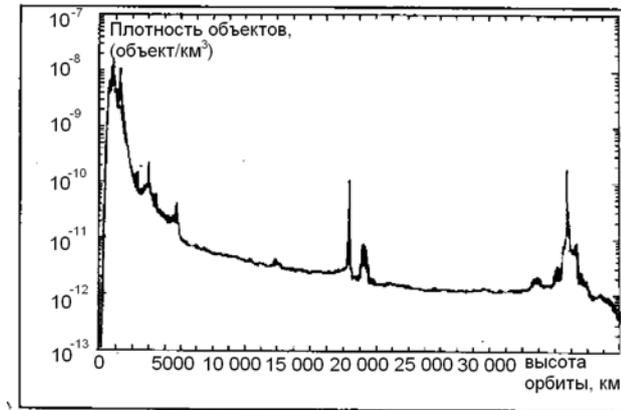


Рис. 1. Распределение космического мусора в околоземном пространстве

В работе [5] были рассмотрены возможные варианты построения системы обеспечения безопасного движения КА. Анализ показал, что в контуре обеспечения безопасности КА должны быть задействованы несколько систем спутника, большинство из которых в настоящее время уже разработаны и успешно эксплуатируются на существующих КА. Однако до настоящего времени в отечественной практике в составе КА не применялась бортовая система обнаружения и измерения координат космических объектов. Авторы работы [5] рассматривают следующие методы обнаружения объекта и слежения:

- 1) пассивное оптическое обнаружение;
- 2) активная радиолокация;
- 3) активная лазерная локация.

По результатам анализа в работе [5] делается вывод, что целесообразным является комплексирование различных принципов обнаружения и слежения при разработке системы.

Результаты измерений бортовой системы обнаружения и измерения координат должны передаваться в бортовое программное обеспечение, которое будет осуществлять расчет вектора кинематических параметров объекта космического мусора, прогнозирование его траектории и планирование проведения коррекций орбиты КА в случае возникновения опасных сближений КА и объекта.

В представленной статье рассматривается один из вариантов построения системы обнаружения и измерения координат – бортовая оптико-радиолокационная система (БОРЛС).

Бортовая оптико-радиолокационная система предназначена для решения следующих задач:

- обнаружение объектов, находящихся в непо-

средственной близости от КА и угрожающих его безопасности;

- определение координат объектов и параметров их движения;
- сопровождение указанных объектов до выхода их из зоны действия системы;
- передача измеренных параметров движения объектов бортовому программному обеспечению для дальнейшей обработки информации и принятия решения об осуществлении маневра КА.

БОРЛС должна функционировать в соответствии со следующими основными принципами:

1. На солнечном участке орбиты при отсутствии засветки оптической аппаратуры обнаружение, сопровождение и определение угловых координат объекта производится только оптическими средствами. Угловые координаты определяются с малыми погрешностями, обусловленными разрешающей способностью оптических средств. Радиолокационные средства используются только для определения дальности до объекта, при этом измерения производятся с большой периодичностью.

2. При наличии засветки и на теневом участке орбиты обнаружение, сопровождение и определение угловых координат и дальности до объекта производится радиолокационными средствами. Угловые координаты определяются с увеличенной погрешностью, обусловленной шириной диаграммы направленности. Точное определение угловых координат объекта производится при появлении возможности использования оптических средств.

Совмещение оптической и радиолокационной аппаратуры в одной системе имеет следующие преимущества:

1. Возможность выполнения функций системы при невозможности использования оптической либо радиолокационной аппаратуры.
2. Увеличение срока эксплуатации радиолокационной аппаратуры за счет увеличения периода проведения измерений.
3. Возможность оптимизации массы и габаритов антенной системы за счет увеличения ширины главного лепестка диаграммы направленности и снижения требований к точности определения угловых координат радиолокационными средствами.

Для решения поставленных задач БОРЛС должна включать в себя следующие структурные элементы:

- 1) оптико-радиолокационную аппаратуру (ОРЛА);
- 2) бортовое программное обеспечение (БПО).

ОРЛА должна обеспечивать полный просмотр пространства вокруг КА, обнаружение и измерение координат объектов, сопровождение объектов. Измерение координат объекта оптико-радиолокационной аппаратурой должно производиться в собственной приборной системе координат. Пересчет измеренных значений в БПО с использованием информации от других систем.

БПО должно обеспечивать управление ОРЛА согласно заданным алгоритмам работы и расчет вектора кинематических параметров объекта по измеренным значениям координат.

Возможно несколько вариантов функционирования БОРЛС:

- 1) с последовательной работой блоков ОРЛА;
- 2) с параллельной работой блоков ОРЛА.

При функционировании по схеме с последовательной работой блоков поиск, обработка видеоизображений, формирование и прием радиолокационных сигналов производится последовательно для каждого средства обнаружения и слежения.

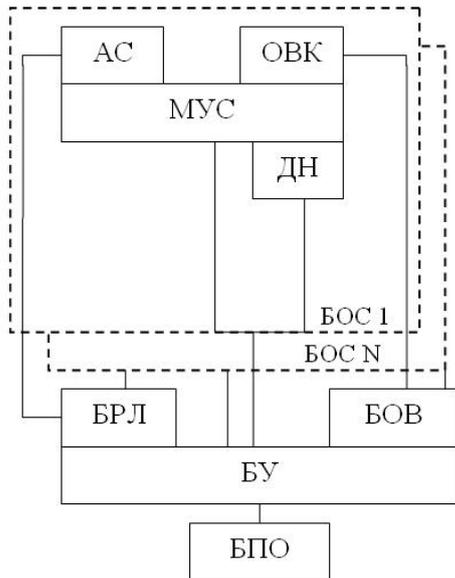


Рис. 2. Структурная схема БОРЛС при последовательном функционировании блоков

При *последовательном функционировании* ОРЛА должна включать в себя следующие структурные блоки:

1. Блоки обнаружения и слежения (БОС).
2. Блок формирования и обработки радиолокационных сигналов (БРЛ).
3. Блок обработки видеоизображения (БОВ).
4. Блок управления (БУ).
5. Линии связи (ЛС).

Блоки обнаружения и слежения устанавливаются в различных частях КА для обеспечения осмотра всего пространства вокруг КА и должны выполнять следующие функции: формирование видеоизображения оптическими средствами; передача и прием радиолокационных сигналов; механическое сканирование пространства – изменение направления оптической оси и зоны видимости оптических средств; изменение направления главного лепестка диаграммы направленности приемо-передающей радиолокационной антенны; формирование информации о направлении оптической оси и главного лепестка диаграммы направленности.

Каждый блок обнаружения и слежения должен включать в себя следующие составные части:

- 1) обзорная видеокамера (ОВК) с оптической системой)
- 2) антенная система (АС))

При параллельном функционировании возможно проводить контроль пространства, окружающего КА, всеми средствами обнаружения и слежения одновременно, что сокращает время поиска и обнаружения объекта.

Структурная схема БОРЛС с последовательной работой блоков ОРЛА представлена на рис. 2.

Структурная схема БОРЛС с параллельной работой блоков ОРЛА представлена на рис. 3.

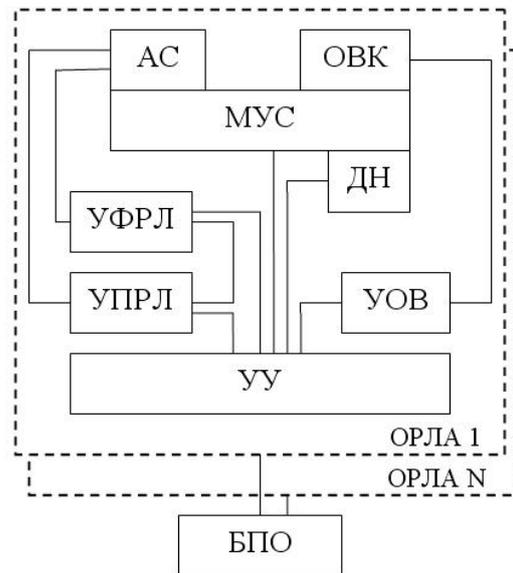


Рис. 3. Структурная схема БОРЛС при параллельном функционировании блоков

3) механическое устройство сканирования (МУС))

4) датчики направления (ДН).

Блок формирования и обработки радиолокационных сигналов должен производить формирование зондирующих радиосигналов, обработку радиосигналов, принятых АС, принятие решения о пеленгации объекта, определение дальности до объекта.

Блок обработки видеоизображения предназначен для выполнения следующих функций: обработка видеоизображения, поступающего от ОВК; принятие решения о наличии объекта в зоне видимости оптических средств; определение координат объекта.

Блок управления предназначен для реализации алгоритмов поиска и слежения за объектом, первичной обработки результатов измерений, определения вектора состояния объекта в приборной системе координат и взаимодействия с БПО.

Линии связи предназначены для передачи радиосигналов между БОС и АС и обмена информацией между структурными блоками ОРЛА.

При построении по схеме с *параллельной работой* блоков на КА устанавливается несколько комплектов ОРЛА, каждый из которых выполняет следующие функции:

1. Формирование, передача, прием и обработка радиолокационных сигналов.

2. Обработка данных, поступающих от оптических средств.

3. Первичная обработка результатов оптических и радиолокационных измерений.

4. Реализация алгоритмов поиска и слежения за объектом, обработка результатов измерений и взаимодействие с БПО.

Каждый комплект ОРЛА при параллельном функционировании должен включать в себя следующие составные части:

1. Обзорная видеокамера (ОВК) с оптической системой.

2. Устройство обработки видеозображения (УОВ).

3. Устройство формирования радиолокационных сигналов (УФРЛ).

4. Устройство приема и обработки радиолокационных сигналов (УПРЛ).

5. Антенная система (АС).

6. Механическое устройство сканирования (МУС) с датчиками направления (ДН).

7. Устройство управления (УУ).

Последовательная работа блоков БОРЛС позволяет сократить массу, габариты и энергопотребление бортовой аппаратуры за счет уменьшения числа блоков формирования и обработки радиолокационных сигналов и видеозображения. Однако при данной схеме построения БРЛ и БОВ одновременно производят обработку сигналов только одного блока обнаружения и слежения, что приводит к невозможности одновременного поиска и сопровождения нескольких объектов, а также увеличивает время поиска в связи с последовательной работой БОС.

Схема построения бортовой оптико-радиолокационной системы зависит от ограничений по массе, габаритам и энергопотреблению, которые разработчик конкретного КА предъявляет к аппаратуре, входящей в систему обеспечения безопасности КА.

Проведем оценку средней квадратической погрешности (СКП) измерения дальности до объекта радиолокационными средствами.

Дисперсия оценки времени запаздывания для простейшего радиолокационного сигнала, заданного в виде прямоугольного радиоимпульса, равна [6]:

$$\sigma_T^2 = \frac{\tau_{\text{и}}}{2 \cdot \Delta f \cdot \frac{2 \cdot E_{\text{ПР}}}{N_0}} = \frac{N_0}{4 \cdot \Delta f \cdot P_{\text{ПР}}}, \quad (1)$$

где N_0 – спектральная плотность мощности шума; $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса; $P_{\text{ПР}}$ – мощность принятого сигнала; Δf – ширина спектра сигнала; $E_{\text{ПР}}$ – энергия принятого сигнала. Тогда дисперсия погрешности оценки дальности равна

$$\sigma_R^2 = c^2 \cdot \sigma_T^2. \quad (2)$$

где c – скорость распространения радиосигнала в вакууме.

С другой стороны, мощность принимаемого сигнала можно выразить как [7]

$$P_{\text{ПР}} = \frac{P_{\text{и}} \cdot G_{\text{ПЕР}} \cdot A_{\text{ПР}} \cdot \eta \cdot S_{\text{ЭФ}}}{(4 \cdot \pi \cdot \rho^2)^2}, \quad (3)$$

где $P_{\text{и}}$ – мощность излученного сигнала; $G_{\text{ПЕР}}$ – коэффициент усиления передающей антенны; $A_{\text{ПР}}$ – эффективная площадь приемной антенны; η – КПД антенны; $S_{\text{ЭФ}}$ – площадь эффективной поверхности отражения объекта; ρ – дальность до объекта.

Коэффициент усиления антенны связан с коэффициентом направленного действия следующим соотношением:

$$G = D \cdot \eta, \quad (4)$$

где D – коэффициент направленного действия антенны (КНД); η – КПД антенны.

Эффективная площадь приемной антенны связана с ее коэффициентом направленного действия и длиной волны сигнала λ следующим образом [8]:

$$A = \frac{D \cdot \lambda^2}{4\pi}. \quad (5)$$

Таким образом, СКП измерения дальности рассматриваемой бортовой РЛС определяется как

$$\begin{aligned} \sigma_R &= \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\frac{N_0}{\Delta f \cdot P_{\text{ПР}}}} = \\ &= 4 \cdot \sqrt{\pi^3} \cdot \rho^2 \cdot f \cdot \sqrt{\frac{N_0}{\Delta f \cdot P_{\text{и}} \cdot D^2 \cdot \eta^2 \cdot S_{\text{ЭФ}}}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $f = c/\lambda$ – частота заполнения радиолокационного сигнала.

Коэффициент усиления зеркальной антенны и КНД можно определить как

$$G = \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda}\right)^2 \cdot g_{\text{Э}}, \quad D = \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda}\right)^2 \cdot \nu_{\text{ИСП}}. \quad (7)$$

где d – диаметр антенны; $g_{\text{Э}} = \eta \cdot \nu_{\text{ИСП}}$ – эффективность зеркальной антенны; $\nu_{\text{ИСП}}$ – коэффициент использования поверхности раскрыва зеркальной антенны.

Расчет СКП измерения дальности проведен с использованием следующих исходных данных. Мощность излучаемого одиночного радиоимпульса принимается равной 6 кВт, несущая частота – равной 30 ГГц, а ширина спектра – 10 МГц (при длительности импульса 0,1 мкс), что соответствует сигналам, формируемым современными магнетронами с повышенным временем наработки на отказ [9]. Спектральная плотность шума для космической среды принимается равной $N_0 = 10^{-20}$ Вт/Гц (–200 дБВт/Гц). Коэффициент использования поверхности принимается равным 0,5, что обусловлено необходимостью минимизировать обратное излучение антенной системы [8]. КПД антенно-фидерной системы принимается равным 0,7. Для антенны с диаметром 0,3 м КНД на указанной частоте равен 36 дБ, а ширина диаграммы направленности равна 2,6°.

График зависимости СКП измерения дальности от дальности до объекта и эффективной площади рассеяния объекта представлен на рис. 4. При измерении дальности по пачке из N радиоимпульсов, СКП измерения дальности уменьшается в корень из N раз.

Расчет показывает, что радиолокационные средства БОРЛС будут иметь приемлемые значения погрешности измерения дальности при относительно малых габаритах приемо-передающей антенны. Для

уменьшения значения этой погрешности возможно как изменение размеров антенны и увеличение излучаемой мощности, так и расширение полосы частот сигнала за счет применения внутримпульсной модуляции.

Погрешность измерения угловых координат объекта будет зависеть от разрешающей способности видеокамеры, погрешностей измерения датчиков направления и конструктивных особенностей разрабатываемой аппаратуры. Оценки показывают, что СКП измерения угловых координат для оптического метода может лежать в диапазоне 3–5 угловых минут.

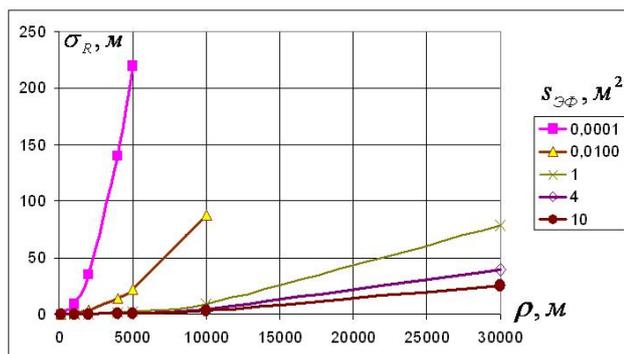


Рис. 4. Зависимость среднеквадратической погрешности измерения дальности от дальности до объекта и эффективной площади рассеяния объекта

Мощность, потребляемая наземным мобильным приемопередающим радиолокационным устройством с аналогичными характеристиками [10], составляет 60 Вт, а масса не превышает 30 кг. Предварительные оценки показывают, что энергопотребление БОРЛС в целом может лежать в диапазоне от 60 до 100 Вт, а масса – в диапазоне от 50 до 70 кг в зависимости от схемы построения системы. Следует заметить, что ресурс современных магнетронов и других активных СВЧ-элементов недостаточен для функционирования в течение всего срока активного существования КА. Поэтому в БОРЛС должно быть предусмотрено многократное резервирование активных элементов с целью обеспечения требуемого ресурса работы.

В статье рассмотрена бортовая оптико-радиолокационная система контроля окружающего пространства космического аппарата. Точностные характеристики, энергопотребление и масса предлагаемой системы являются приемлемыми для использования БОРЛС в составе бортового оборудования геостационарного космического аппарата.

Разработка бортовых систем обеспечения безопасности движения геостационарных КА в настоящее время является перспективной задачей, поэтому предлагаемая схема построения бортовой системы обнаружения и определения координат объектов может найти широкое применение на космических аппаратах отечественного производства.

Бортовые системы обнаружения космических объектов и определения их координат, размещенные на различных космических аппаратах, могут стать ча-

стью космического сегмента глобальной системы космического мониторинга и, совместно с наземным сегментом, решать задачи контроля околоземного пространства и обеспечения безопасности космических полетов.

Библиографические ссылки

1. Словарь космических терминов. Космический мусор [Электронный ресурс]. URL: <http://www.federal-space.ru/main.php?id=11&did=437> (дата обращения: 01.09.2013).
2. Рыхлова Л. В. Проблемы космического мусора [Электронный ресурс]. URL: <http://epizodsspace.no-ip.org/bibl/ziv/1993/6/musor.html> (дата обращения: 01.09.2013).
3. Исследования фрагментов космического мусора в геостационарной области / А. Е. Вольвач, В. В. Румянцев, И. Е. Молотов и др. [Электронный ресурс]. URL: <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000004/p000004.htm> (дата обращения: 01.09.2013).
4. Булынин Ю. Л., Гречкосеев А. К., Кульков А. Н. Анализ техногенной засоренности космического пространства и опасности этого фактора для функционирования КА // Системный анализ, управление и навигация : тезисы докладов XVIII Междунар. науч. конф. М. : Изд-во МАИ, 2013. 172 с.
5. Марарескул Д. И., Ермолаев М. В. Система обеспечения безопасного управления орбитальным движением космических аппаратов на геостационарной орбите // Безопасность и живучесть технических систем : тр. IV Всерос. конф. В 2 т. Красноярск : Ин-т физики им. Л. В. Киренского СО РАН, 2012. Т. 2.
6. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. М. : Советское радио, 1966.
7. Теоретические основы радиолокации / под ред. Я. Д. Ширмана. М. : Советское радио, 1970.
8. Устройства СВЧ и антенны / Д. И. Воскресенский, В. Л. Гостюхин, В. М. Максимов, Л. И. Пономарев. М. : Радиотехника, 2006.
9. Магнетрон МИ-471 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.oao-tantal.ru/tovar.php?id=3705> (дата обращения: 18.08.2013).
10. Радиолокатор разведки наземных и малоскоростных низколетящих целей 111L1 «ЛИС» [Электронный ресурс]. URL: http://www.ust.com.ua/ru/rls/rls_lis1.html (дата обращения: 25.08.2013).

References

1. *Slovar' kosmicheskikh terminov* [Space terms dictionary]. Available at: <http://www.federalspace.ru/main.php?id=11&did=437> (accessed 1 September 2013).
2. Ryhlova L. V. *Problemy kosmicheskogo musora* [The problems of space debris]. Available at: <http://epizodsspace.no-ip.org/bibl/ziv/1993/6/musor.html> (accessed 1 September 2013).
3. Vol'vatch A. E., Rumiantsev V. V., Molotov I. E. et al. *Issledovanie fragmentov kosmicheskogo musora v geostatsionarnoj oblasti* [Research of space debris parts

in geostationary area]. Available at: <http://lfvn.astro-nomer.ru/report/0000004/p000004.htm> (accessed 1 September 2013).

4. Bulinin U. L., Grechkoseev A. K., Kulkov A. N. Analysis of man-made space pollution and its treat for GEO satellites operation [*Analiz tekhnogennoj zasorionnosti kosmicheskogo pronstranstva i opasnosti etogo faktora dlia funkcionirovaniya KA*]. 18th International Scientific conf. "System analysis, management and navigation". Heads of reports. Evpatoria 2013, Moscow, MAI publishers, p. 20–21.

5. Marareskul D. I., Ermolaev M. V. GEO satellites transition safety control system [*Sistema obespetchenija bezopasnogo upravlenija orbital'nim dvizheniem kosmicheskikh apparatov na geostatsionarnoj orbite*]. Trudy IV vsrossijskoj konferentsii "Bezopasnost' i zhivuchest' tekhnicheskikh system (Proc. 4th All-Russian Technol. Symp. "Safety and durability of technical systems"). Krasnojarsk, 2012, vol. 2, p. 118–123.

6. Tikhonov V. I. *Statisticheskaja radiotekhnika* (Statistical radio engineering). Moscow, Soviet Radio, 1966, 680 p.

7. *Teoreticheskie osnovi radiolokatsii* (Theoretical basis of radiolocation). Moscow, Soviet Radio, 1970, 560 p.

8. Voskresenskij D. I. et al. *Ustrojstva SVTch i antenni* (Microwave frequency devices and antennas). Moscow, Radio Engineering, 2006, 376 p.

9. Magnetron MI-471. Available at: <http://www.oao-tantal.ru/tovar.php?id=3705> (accessed 18 August 2013).

10. *Radiolocator razvedki nazemnikh i maloskorostnikh tselej 111L1 "LIS"* [Radar for land and low-speed targets detection 111L1 "LIS"]. Available at: http://www.ust.com.ua/ru/rls/rls_lis1.html (accessed 25 August 2013).

© Ермолаев М. В., Марарескул Д. И., Ислентьев Е. В., Алешечкин А. М., 2013

УДК 532.526.4

ТЕПЛОТДАЧА В КАВЕРНЕ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ ЖРД*

А. А. Зуев, М. И. Толстопятов

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: dla2011@inbox.ru

Предметом работы является теоретическое исследование течения с учетом теплоотдачи в полости вращения между ротором и статором газовой турбины. Для получения зависимостей, позволяющих производить расчет локального коэффициента теплоотдачи в стенку вращающегося диска (ротора) и неподвижную стенку корпуса (статора) использован метод интегральных соотношений. В результате выполненной работы получены зависимости, реализация которых в программное обеспечение позволит производить расчет тепловых потоков в элементы конструкции осевой газовой турбины. Сравнительный анализ с теориями различных авторов при расчете локального коэффициента теплоотдачи в стенку вращающегося диска дал удовлетворительную сходимость. Сравнительный анализ полученных зависимостей показал больший коэффициент теплоотдачи от вращающегося в каверне потока в стенку статора, нежели ротора.

Ключевые слова: каверна газовой турбины, полость вращения, вращательное течение, уравнение энергии, коэффициент теплоотдачи.

HEAT TRANSFER IN THE CAVITY OF A GAS TURBINE LIQUID ROCKET ENGINE

A. A. Zuev, M. I. Tolstopyatov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation. E-mail: dla2011@inbox.ru

The subject of the study is the theoretical research of the process in consideration with heat emission in the cavity rotation between the rotor and the stator of a gas turbine. For the result of the dependency which allows to make a calculation of the local heat emission coefficient in the wall of a rotation disk (rotor) and the fixed wall of the framework (stator), the method of the integral ratios is used. As a result of the performed work, the dependency has been brought out. Realization of the dependency into the software will make the calculation of the heat currents in the axial elements of the construction of a gas turbine.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.1835.