

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ МАССЫ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА ПО ЗАДАННОМУ ЛИНЕЙНОМУ РАЗРЕШЕНИЮ НА МЕСТНОСТИ

В процессе разработки космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на начальном этапе проектирования необходимо оценить массово-габаритные характеристики оптико-электронного телескопического комплекса (ОЭТК), которые зависят от оптической схемы, несущей конструкции, фотоприёмных устройств и т.д.

Применяемые в настоящее время методики основываются на допущении, что масса ОЭТК, имеющая в первом приближении форму цилиндра, в основном распределена вблизи поверхности корпуса и торцов ОЭТК [1, 2].

Целью данной работы является определение массы ОЭТК как суммы масс отдельных составляющих, а именно несущей конструкции, главного зеркала, монтажной платформы главного зеркала, вторичного зеркала и фотоприёмных устройств.

Наибольшее применение в КА ДЗЗ получили телескопические системы по схеме Ричи-Кретьена. В этом случае выражение для определения массы ОЭТК можно записать в виде:

$$m_{\text{ОЭТК}} = m_{\text{НК}} + m_{\text{ГЗ}} + m_{\text{ВЗ}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{НК}}$ – масса несущей конструкции;

$m_{\text{ГЗ}}$ – масса главного зеркала (ГЗ)

$m_{\text{ВЗ}}$ – масса вторичного зеркала (ВЗ)

Рассмотрим слагаемые в выражении (1) более подробно.

1. Несущую конструкцию ОЭТК представим в виде тонкостенного цилиндра с основанием, имеющим диаметр $D_{\text{ОЭТК}}$ и толщиной стенки $\delta_{\text{НК}}$. Диаметр ОЭТК в работе [1] предлагается рассчитывать по формуле:

$$D_{\text{ОЭТК}} = k_D \cdot D_{\text{ГЗ}} \quad (2)$$

где k_D – коэффициент превышения диаметра корпуса ОЭТК над диаметром ГЗ;

$D_{\text{ГЗ}}$ – диаметр главного зеркала ОЭТК.

Коэффициент k_D составляет 1,10...1,20.

Диаметр главного зеркала можно рассчитать по формуле [1]:

$$D_{\text{ГЗ}} = \frac{\lambda H}{2k_0 L_M}, \quad (3)$$

где λ – рабочая частота световой волны;

H – высота полёта КА;

k_0 – нормированная пространственная частота, значение которой для зеркальных систем с экранированием рекомендуется брать равной $0,3 \pm 0,03$ [2];

L_M – линейное разрешение на местности.

Площадь обечайки и «крышки» цилиндра рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{НК}} = \pi \cdot D_{\text{ОЭТК}} \cdot L_{\text{ОЭТК}} + \pi \cdot \frac{D_{\text{ОЭТК}}^2}{4}, \quad (4)$$

где $L_{\text{ОЭТК}}$ – длина ОЭТК.

Длина ОЭТК зависит от размера фотоприёмного элемента (пикселя) $l_{\text{эл}}$, линейного разрешения на местности L_M и высоты полёта H . В работе [1] предлагается использовать для определения длины ОЭТК следующее выражение:

$$L_{\text{ОЭТК}} = k_f \frac{l_{\text{эл}}}{L_{\text{М}}} H, \quad (5)$$

где k_f – коэффициент уменьшения длины корпуса за счёт установки вторичного зеркала и линзового корректора. Этот коэффициент зависит от выбранной оптической схемы. Например, для схемы Ричи-Кретьена с линзовым корректором он составляет $k_f = 0,20 \dots 0,25$.

С учётом вышеперечисленного, для площади поверхности несущей конструкции получим:

$$\begin{aligned} S_{\text{НК}} &= \pi k_D D_{\text{ГЗ}} L_{\text{ОЭТК}} + \pi \frac{(k_D D_{\text{ГЗ}})^2}{4} = \pi k_D \frac{\lambda H}{2k_0 L_{\text{М}}} k_f \frac{l_{\text{эл}}}{L_{\text{М}}} H + \frac{\pi}{4} \left(k_D \frac{\lambda H}{2k_0 L_{\text{М}}} \right)^2 = \\ &= \pi k_D \frac{\lambda H}{2k_0 L_{\text{М}}} k_f \frac{l_{\text{эл}}}{L_{\text{М}}} H + \pi \frac{(k_D \lambda H)^2}{4 \cdot 4 \cdot (k_0 L_{\text{М}})^2} = \pi \frac{\lambda H^2}{2k_0 L_{\text{М}}^2} \left(k_D k_f l_{\text{эл}} + \frac{k_D^2 \cdot \lambda}{8 \cdot k_0} \right). \quad (6) \end{aligned}$$

Тогда масса несущей конструкции будет определяться по формуле:

$$m_{\text{НК}} = \pi \cdot \rho_{\text{НК}} \cdot \delta_{\text{НК}} \cdot \frac{\lambda H^2}{2k_0 L_{\text{М}}^2} \cdot \left(k_D \cdot k_f \cdot l_{\text{эл}} + \frac{k_D^2 \cdot \lambda}{8 \cdot k_0} \right), \quad (7)$$

где $\rho_{\text{НК}}$ – плотность материала несущей конструкции.

2. Для определения массы главного зеркала примем допущение, что его конструкция представляет собой цилиндр диаметром $D_{\text{ГЗ}}$ с центральным отверстием, диаметр которого равен диаметру вторичного зеркала $D_{\text{ВЗ}}$ и вогнутым основанием радиусом $R_{\text{ГЗ}}$ (рис. 1).

Поскольку радиус кривизны главного зеркала много больше диаметра главного зеркала, то объёмом слоя шара, имеющего радиус $R_{\text{ГЗ}}$ высотой $h_{\text{ГЗ}} - h_0$ можно пренебречь. Тогда объём кон-

струкции главного зеркала примем приближенно равным объему цилиндра диаметром $D_{ГЗ}$ за вычетом объема цилиндра диаметром $D_{ВЗ}$ высотой $h_{ГЗ}$:

$$V_{ГЗ} \approx \pi \cdot \frac{D_{ГЗ}^2}{4} \cdot h_{ГЗ} - \pi \cdot \frac{D_{ВЗ}^2}{4} \cdot h_{ГЗ} = \frac{\pi \cdot h_{ГЗ}}{4} \cdot (D_{ГЗ}^2 - D_{ВЗ}^2). \quad (8)$$

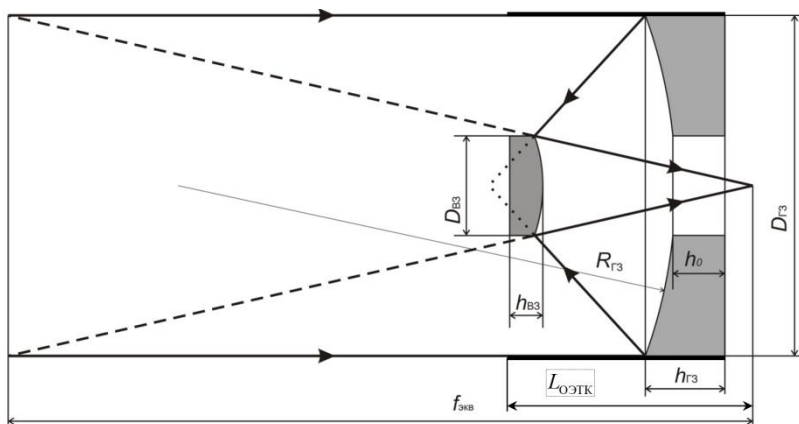


Рис. 1. Схема двухзеркального телескопа

Диаметр вторичного зеркала определяется выражением [1]:

$$D_{ВЗ} = q \cdot D_{ГЗ} = \frac{\lambda H q}{2k_0 L_M}, \quad (9)$$

где q – отношение диаметра вторичного зеркала к диаметру главного зеркала.

С учётом формулы (9) получим следующее выражения для определения объема конструкции главного зеркала:

$$V_{ГЗ} \approx \frac{\pi \cdot h_{ГЗ}}{4} \cdot (D_{ГЗ}^2 - q^2 D_{ГЗ}^2) = \frac{\pi \cdot h_{ГЗ}}{4} \cdot \left(\frac{\lambda H}{2k_0 L_M} \right)^2 \cdot (1 - q^2). \quad (10)$$

При производстве современных зеркал больших диаметров используют специальные конструкционные материалы и конструктивные схемы. Зеркала могут изготавливаться из бериллия, ситалла, церодура и др. Указанные мероприятия позволяют обеспечить снижение массы главного зеркала. В качестве меры снижения массы используется коэффициент облегчения $k_{обл}$, который может достигать значения 0,6.

С учётом вышесказанного, масса конструкции главного зеркала можно определить по формуле:

$$m_{ГЗ} \approx \frac{\pi \cdot h_{ГЗ}}{4} \cdot \left(\frac{\lambda H}{2k_0 L_M} \right)^2 \cdot (1 - q^2) \cdot \rho_{ГЗ} \cdot k_{обл}, \quad (11)$$

где $\rho_{ГЗ}$ – плотность материала зеркала (например, модуль упругости бериллия – $1,9 \text{ кг/м}^3$, церодура – $2,6 \text{ кг/м}^3$, ситалла СО-115М – $2,46 \text{ кг/м}^3$).

Коэффициент облегчения $k_{обл}$ выбирается из интервала 0,6...0,9 [1].

3. Масса вторичного зеркала может быть определена как масса полнотелого цилиндра диаметром $D_{ВЗ}$ и высотой $h_{ВЗ}$:

$$m_{ВЗ} \approx \pi \cdot \frac{D_{ВЗ}^2}{4} \cdot h_{ВЗ} \cdot \rho_{ВЗ} \cdot k_{обл} = \frac{\pi \cdot h_{ВЗ} \cdot \rho_{ВЗ} \cdot k_{обл} \cdot q^2}{4} \left(\frac{\lambda H}{2k_0 L_M} \right)^2, \quad (12)$$

где $\rho_{ВЗ}$ – плотность материала вторичного зеркала (положим $\rho_{ВЗ} = \rho_{ГЗ}$).

Подставляя полученные выражения (7), (11) и (12) в выражение (1) и проведя преобразования, получим следующую зависимость для определения массы ОЭТК:

$$m_{\text{ОЭТК}} = \pi \cdot \frac{\lambda^2 H^2}{k_0^2 L_M^2} \cdot \left[\left(\frac{k_D \cdot k_f \cdot l_{\text{эл}} \cdot k_0}{2 \cdot \lambda} + \frac{k_D^2}{16 \cdot k_0} \right) \cdot \rho_{\text{НК}} \cdot \delta_{\text{НК}} + \right. \\ \left. + \frac{\rho_{\text{ГЗ}} \cdot k_{\text{обл}}}{16} \cdot \left(h_{\text{ГЗ}} \cdot (1 - q^2) + h_{\text{ВЗ}} \cdot q^2 \right) \right] \quad (13)$$

Полученное выражение позволяет точнее оценить массу ОЭТК на начальном этапе проектирования КА ДЗЗ.

Библиографический список

1. Куренков, В.И. Основы проектирования космических аппаратов оптико-электронного наблюдения поверхности Земли. Расчет основных характеристик и формирование проектного облика: учебное пособие / В.И. Куренков. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2020. – 464 с.

2. Маламед, Е.Р. Конструирование оптических приборов космического базирования: учебное пособие / Е.Р. Маламед. – Санкт-Петербург: СПбГИТМО(ТУ), 2002. – 291 с.

УДК 629.78

Шишкин Н. В., Четвериков А. С.

ПРОЕКТНЫЙ ОБЛИК КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА БАЗЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ «НАВИГАТОР»

Пополнение орбитальной группировки в кратчайшие сроки требует применения новых методов и схемно-технических предло-