

К ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ БАЛАНСИРОВОЧНЫХ ГРУЗОВ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ ОТСЕКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

При разработке конструкторской документации на космический аппарат (КА) прорабатываются компоновочные решения, обеспечивающие его эффективное целевое функционирование. Например, это минимизация отклонения центра масс (ЦМ) от исходного значения после размещения бортовой аппаратуры в отсеке. Для этого осуществляют статическую балансировку с помощью балансировочных грузов (БГ), если не удаётся получить допускаемые отклонения без их участия.

Кроме статической балансировки, требуется проводить динамическую балансировку отсеков КА, для чего приходится использовать дополнительное количество БГ, если за счёт изменений внутренней компоновки отсека это не удаётся обеспечить [1]. Задачей динамической балансировки является совмещение главных осей инерции с геометрическими осями отсека [2]. Как правило, при экспериментальной отработке для этого находят эллипс инерции с помощью специально разработанных стендов высокой точности, для которых допустимая погрешность находится в диапазоне $0,1 \dots 0,5\%$ в зависимости от требований ориентации. Поэтому для заключительного этапа общей сборки КА уже разработаны экспериментальные и расчётно-экспериментальные методики автоматизированного размещения БГ при динамической балансировке [3]. Однако, решение этой задачи имеет актуальность и для стадий эскизного и технического проектирования, так как позволяет на ранних этапах разработки КА оценить рациональность компоновки отсека и предусмотреть конструктивные элементы для крепления БГ. Вопросу разработки проектной модели размещения БГ при динамической балансировке, собственно, и посвящается данное исследование.

Динамическая неуравновешенность может быть вызвана парой центробежных сил. В таком случае для её устранения достаточно лишь пары дополнительных БГ.

Пусть с главной поперечной плоскостью КА сопряжены четыре фиктивные опоры. Под действием силы тяжести в фиктивных опорах будут возникать две пары реакций. Чтобы их уравновесить, надо разместить пару БГ.

Сначала требуется рассчитать реакции фиктивных опор из условия равенства моментов сил динамической неуравновешенности и этих реакций:

$$\begin{cases} R_1 l - J_{yx} \omega^2 = 0 \\ R_2 l - J_{xz} \omega^2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = \frac{J_{yx} \omega^2}{l} \\ R_2 = \frac{J_{xz} \omega^2}{l} \end{cases},$$

где l – расстояние от начала базовой системы координат КА до фиктивной опоры;

ω – угловая скорость вращения;

J_{yx}, J_{xz} – проектные центробежные моменты инерции КА.

На практике выбор плоскостей коррекции определяется конструкцией агрегата и удобством установки БГ (монтажные и эргономические требования) [2], что показано на рис. 1. Благодаря этому сокращается размерность задачи с трёх до двух параметров.

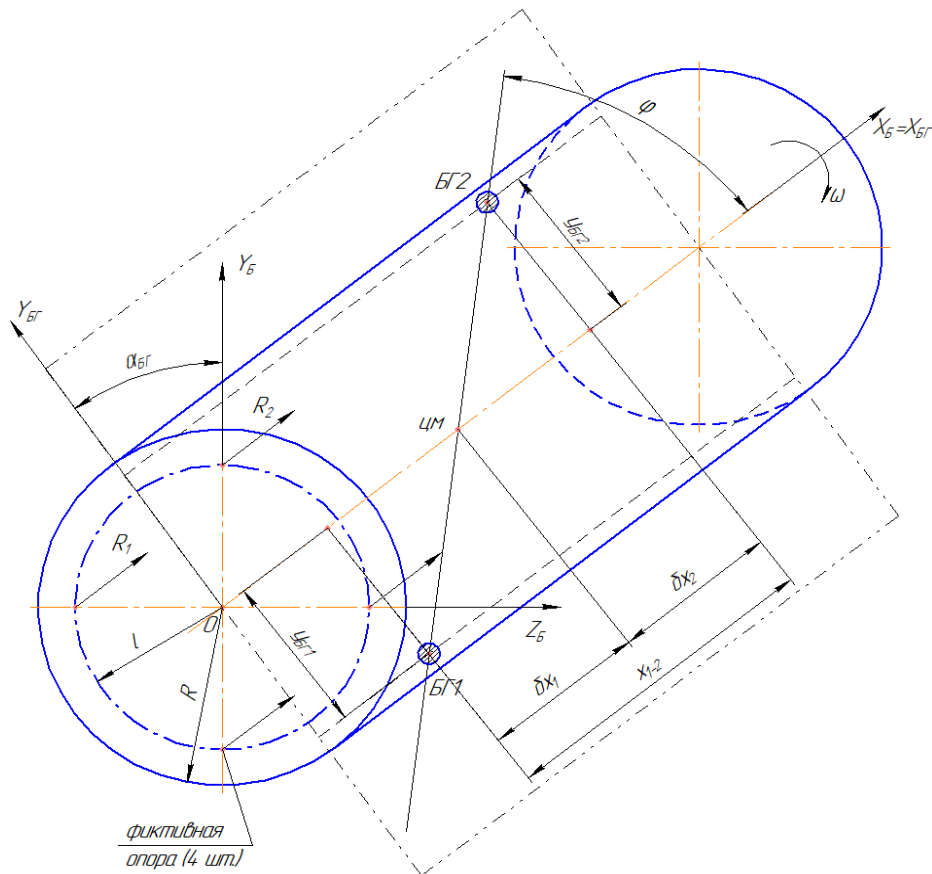


Рис. 1. Схема размещения БГ для динамической балансировки

Угол между плоскостью установки БГ и плоскостью $X_{БГ}O_{БГ}Z_{БГ}$ в общем случае равен:

$$\alpha_{БГ} = \arctg \frac{R_2}{R_1} = \arctg \frac{\frac{J_{xz} \omega^2}{l}}{\frac{J_{yx} \omega^2}{l}} = \arctg \frac{J_{xz}}{J_{yx}}.$$

В общем случае масса БГ может быть найдена по формуле [2], которую решено преобразовать с помощью подстановки:

$$m_{БГ} = \frac{l}{x_{1-2} y_{БГ} \omega^2} \sqrt{R_1^2 + R_2^2} = \frac{l}{x_{1-2} y_{БГ} \omega^2} \sqrt{\left(\frac{J_{yx} \omega^2}{l}\right)^2 + \left(\frac{J_{xz} \omega^2}{l}\right)^2} =$$

$$= \frac{l \omega^2}{x_{1-2} y_{БГ} \omega^2 l} \sqrt{J_{yx}^2 + J_{xz}^2} = \frac{1}{x_{1-2} y_{БГ}} \sqrt{J_{yx}^2 + J_{xz}^2}$$

где $y_{БГ}$ – расстояние от продольной оси отсека до точки установки БГ;

x_{1-2} – расстояние между точками установки двух БГ по продольной оси.

Проектные центробежные моменты инерции могут быть взяты из документа технического предложения или сняты с проектной твердотельной модели КА.

Угловая скорость вращения определяется по результатам моделирования в соответствующей САЕ-программе или также берётся из документа технического предложения.

Расстояния установки БГ от продольной оси отсека рекомендуется задавать одинаковым, если это возможно конструктивно и технологически.

Расстояние между точками установки БГ по продольной оси обуславливается монтажными и эргономическими требованиями, о чём говорилось ранее.

Таким образом, полагая проектные моменты инерции постоянными, можно заключить, что масса БГ зависит от координат размещения относительно продольной оси и расстояния между самими грузами и не зависит от расстояния по продольной оси до центра базовой системы координат КА. Тогда оптимизация массово-габаритных параметров КА на данном этапе заключается в минимизации массы БГ, что можно записать целевой функцией:

$$m_{БГ} = m_{БГ}(x_{1-2}; y_{БГ}) \rightarrow \min .$$

Очевидно, что имеет место система из двух функционалов:

$$\begin{cases} x_{1-2} \rightarrow \max \\ y_{БГ} \rightarrow \max \end{cases} .$$

Первый параметр данной системы можно представить, как сумму расстояний относительно ЦМ БГ в продольном направлении:

$$x_{1-2} = \delta x_1 + \delta x_2 .$$

Второй параметр системы, так как задача плоская, можно найти через эти же расстояния:

$$\begin{cases} y_{БГ1} = \delta x_1 \operatorname{tg} \varphi \\ y_{БГ2} = \delta x_2 \operatorname{tg} \varphi \end{cases} .$$

Если места установки БГ для динамической балансировки регламентированы, то решение задачи имеет единственное решение. В ином случае величины этих расстояний требуется подобрать такие, чтоб обеспечить максимум двух вве-

дённных ранее функционалов. Данная подзадача является многомерной, так как включает большое количество параметров, характеризующих конструкцию отсека с одной стороны в виде геометрических величин и связку габаритных и эргономических требований с другой стороны в виде логических выражений. В связи с этим требуется отдельное исследование, каким образом можно вычислить параметры компоновки за неимением результатов экспериментальной отработки. Очевидно, что в предельном случае искомое расстояние между точками установки двух БГ по продольной оси будет равно длине отсека, но этого не удаётся реализовать на практике. Таким образом, рассмотренная задача в ряде частных случаев должна приобрести некоторое методическое продолжение.

Библиографический список

1. Основы компоновки бортового оборудования космических аппаратов: учебное пособие / А.В. Туманов, В.В. Зеленцов, Г.А. Щеглов. – 3-е изд., испр. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 572, [4] с.

2. Технология сборки и испытаний космических аппаратов: Учебник для высших учебных заведений / И.Т. Беляков, И.А. Зернов, Е.Г. Антонов и др.; Под общ. ред. И.Т. Белякова и И.А. Зернова. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

3. Ключников А.В., Васильев М.А., Патокина Н.Е., Абышев Н.А., Криковцов Д.А. Конструкции и пути совершенствования систем контроля характеристик геометрии масс летательных аппаратов // НиКСС. 2018. №3 (23).

УДК 629.78

Иванушкин М.А.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСПУТНИКОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

Повышение требований к глобальности и периодичности наблюдения земной поверхности, оперативности получения и доставки информации потребителям обуславливает возникшую потребность в создании космических систем (КС), состоящих из большего числа космических аппаратов.

Анализ существующих космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет сделать вывод, что в части создания современных КС ДЗЗ обозначился тренд на разворачивание многоспутниковых группировок, состоящих из малых космических аппаратов (КА), находящихся на низкой околокруговой солнечно-синхронной орбите с высотой, не превышающей 700 км [1,2]. Це-