

УДК 629.7

МЕХАНИЗМ РАСКРЫТИЯ СИЛОВОЙ РАМЫ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА КА «МЕТЕОР-М» №1

Е.В. Кривобоков, А.А. Гусев, Б.В. Карбасников, В.П. Ходненко
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Рассмотрена конструкция механизма раскрытия силовой рамы волноводно-щелевой антенны бортового радиолокационного комплекса (ВЩА БРЛК) КА «Метеор-М» №1. Приведен кинематический анализ механизма раскрытия на основе тросовой системы, и на основании приведенных результатов делается однозначный вывод о раскрытии силовой рамы ВЩА БРЛК.

Ключевые слова: силовая рама, механизм раскрытия, космический аппарат, бортовой радиолокационный комплекс, волноводно-щелевая антенна, кинематический анализ, тросовый механизм.

В состав бортового информационного комплекса КА «Метеор-М» № 1 в качестве штатной аппаратуры впервые для КА гидрометеорологического назначения включен бортовой радиолокационный комплекс (БРЛК) дистанционного зондирования Земли («Северянин-М»)¹.

БРЛК предназначен для всепогодного и независимого от естественной освещенности дистанционного зондирования в СМ-диапазоне (9,4 – 9,9 ГГц). Установка БРЛК на КА типа «Метеор-М» позволяет создать многоцелевой информационный комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения. Сочетание в составе бортового информационного комплекса КА измерительных приборов, работающих синхронно в оптических, инфракрасных и микроволновых участках спектра электромагнитных колебаний, позволяет получить комплексную оперативную информацию для решения широкого круга задач в интересах гидрометеорологии, океанографии, обнаружения и мониторинга чрезвычайных ситуаций, контроля окружающей среды, а также изучения природных ресурсов Земли, включая геологию, сельское и лесное хозяйство.

БРЛК состоит из:

- контейнера, размещаемого внутри гермоотсека КА;
- антенного устройства (устройство А-РКА) и внешнего волноводного тракта, размещаемых вне гермоотсека;
- специального программно-математического обеспечения (СПМО) для управления работой комплекса и передачи получаемой голограммы в бортовую информационную систему с радиолиниями ДМ и СМ-диапазонов.

Устройство А-РКА представляет собой волноводно-щелевую антенную решетку с размерами раскрытия $13,4 \times 0,25$ м, изготовленную на основе алюминиевого волновода с прямоугольным каналом сечением 23×10 мм. Конструктивно устройство разделено вдоль большого размера на семь самостоятельных секций одинаковой длины. Это сделано для того, чтобы обеспечить компактную укладку устройства А-РКА при его транспортировании на орбиту. Коэффициент усиления устройства А-РКА составляет не менее 7000. В А-РКА применена специальная форма диаграммы направленности антенны косекансного типа в плоскости малого размера с угловым размером не менее $22,5^\circ$ и перепадом усиления 5,6 дБ. Масса устройства А-РКА составляет не более 36 кг.

Силовая рама волноводно-щелевой антенны (СР ВЩА) БРЛК на КА «Метеор-М» №1 конструктивно состоит из семи секций. Каждая длиной 2 м. Четвертая секция (корневая) неподвижно закреплена на шпангоутах гермокорпуса. Остальные шесть секций сложены в два пакета по три секции и зачекованы на корпусе.

Раскрытие силовой рамы производится с помощью тросового механизма. Трос, одним концом неподвижно закрепленный на крайних секциях (первый и седьмой ложементы), проходит через шкивы на ложементах, делая один оборот вокруг каждого шкива. Вторым концом закреплен на шкиве привода. Вращаясь, привод натягивает трос, тем самым осуществляя раскрытие конструкции одного из крыльев. Каждое крыло раскрывается своим собственным приводом. Шкивы в шарнирах могут свободно вращаться вокруг собственной оси и не передают момент на ложементы. Схема конструкции приведена на рис. 1.

¹ Космический комплекс гидрометеорологического и океанографического обеспечения «Метеор-3М» с космическим аппаратом «Метеор-М» №1: справочные материалы. М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. 143 с.

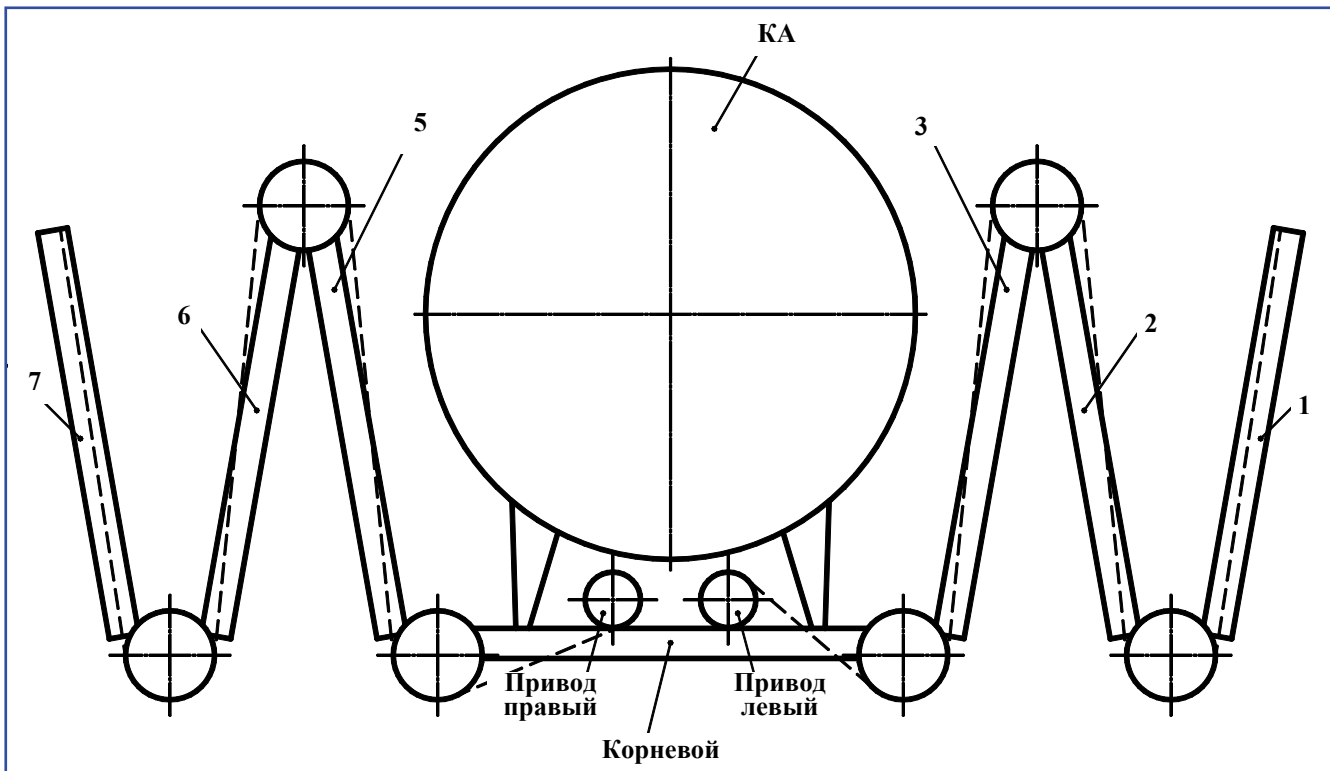


Рис. 1. Схема СР ВЩА БРЛК на КА «Метеор-М» №1

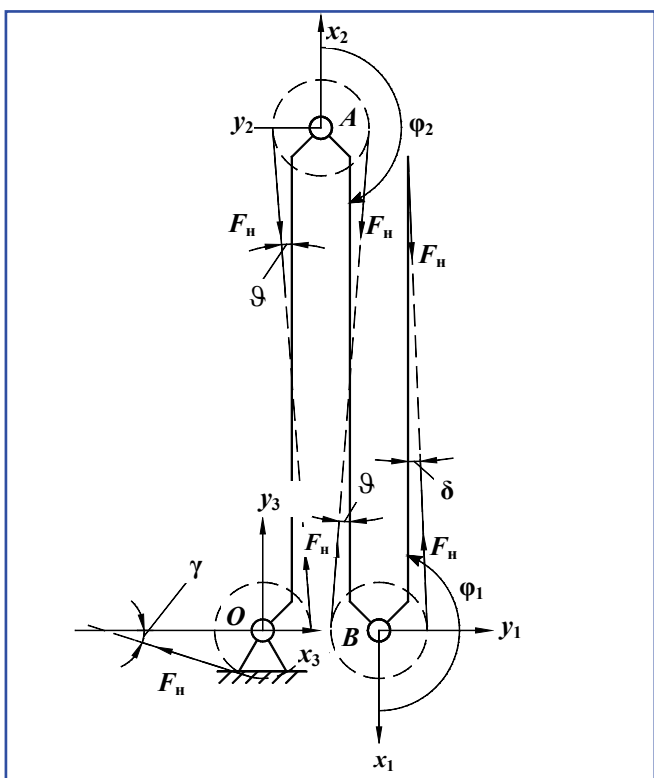


Рис. 2. Кинематическая схема СР ВЩА БРЛК в исходном положении: F_n – сила натяжения троса; $\gamma > \delta > \theta$ – углы наклона троса относительно ложементов; x_n, y_n – локальные оси координат в n -м колене

При раскрытии силовой рамы ложементы 1, 2, 6, 7 поворачиваются в шарнирах на угол 180° , ложементы 3 и 5 на угол 101° . Диаметр шкивов в шарнирах и на приводе одинаковый. Таким образом, при раскрытии шкив привода поворачивается на 1,25 оборота. Чтобы трос не соскакивал со шкивов, он прижимается механизмом прижима в каждом шарнире. Для исключения провисания троса, а также для выдачи первоначального импульса на раскрытие в приводе предусмотрен механизм доворота на основе спиральной пружины.

Фиксация ложементов в раскрытом положении производится с помощью механических магнитных упоров, которые определяют плоскостность всей силовой рамы. Далее проводится расчет сил, возникающих в тросовых заделках при раскрытии СР ВЩА БРЛК. В качестве исходных данных используются геометрические параметры СР, а также сила натяжения троса. Кинематическая схема одного крыла СР ВЩА БРЛК, используемая в расчете, приведена на рис. 2. Так как конструкция является симметричной, то рассматривается только одно крыло.

Ось x_n выбиралась так, чтобы она являлась продолжением $n - 1$ ложемента. Ось z_n параллельна оси кинематической пары (перпендикулярно вверх от плоскости листа). Ось y_n дополняет систему до правой тройки векторов.

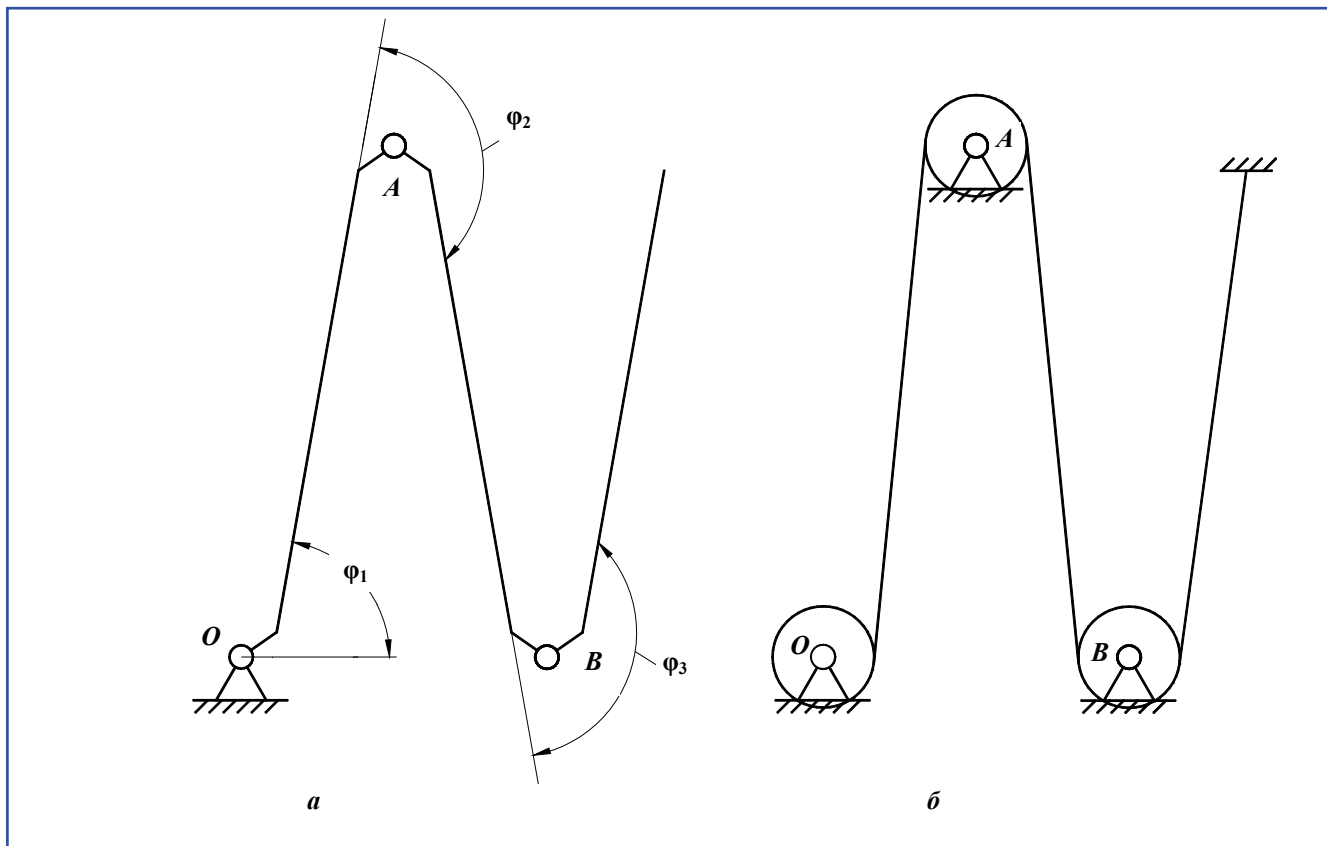


Рис. 3. Две расчетные схемы: а – ложементы; б – тросовая система

Шкивы в каждом колене свободно вращаются на оси и не передают момент на ложементы.

Чтобы найти силы, действующие на ложементы в каждом колене, условно разделим конструкцию на две части: тросовая система и непосредственно ложементы (рис. 3).

Мысленно остановим ложементы в произвольном положении, определяемом углами $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$. Предположим, что каждый ролик (рис. 3, б) закреплен на неподвижном ложементе в текущем положении. Тогда реакции в точках O, A, B (рис. 3, б) можно приложить как внешнюю нагрузку на ложементы (рис. 3, а). Здесь и далее под реакциями в опорах O, A, B понимается только реакции от тросового механизма. Найдем реакции в опорах O, A, B (рис. 3, б).

Рассмотрим подробно точку B (рис. 4). Составим уравнения реакций в проекции на оси x_1 и y_1 локальной системы координат:

$$R_x^1 + F_n \cos(180^\circ - \vartheta) + F_n \cos(\varphi_1 + \delta) = 0;$$

$$R_x^1 = F_n (\cos \vartheta - \cos(\varphi_1 + \delta));$$

$$R_y^1 + F_n \sin(180^\circ - \vartheta) + F_n \sin(\varphi_1 + \delta) = 0;$$

$$R_y^1 = -F_n (\sin \vartheta + \sin(\varphi_1 + \delta)).$$

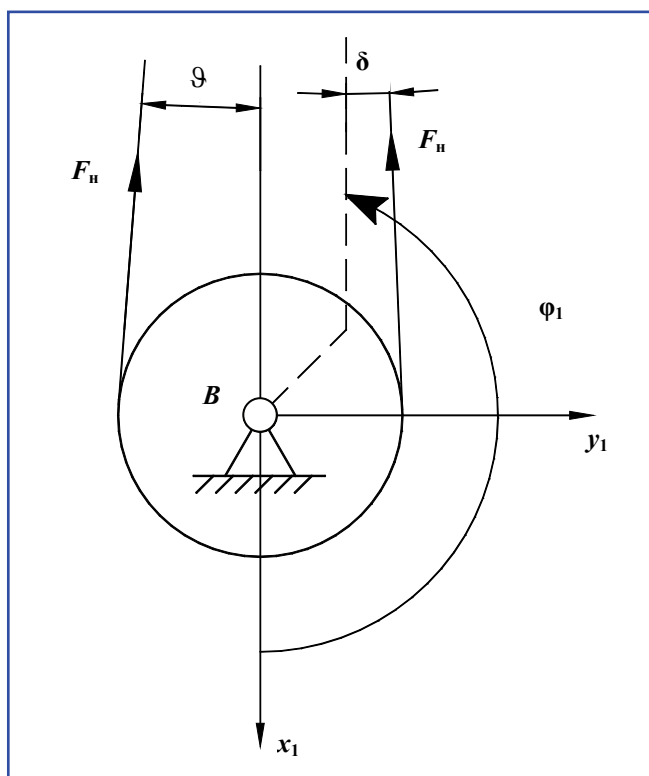


Рис. 4. Реакции в точке B

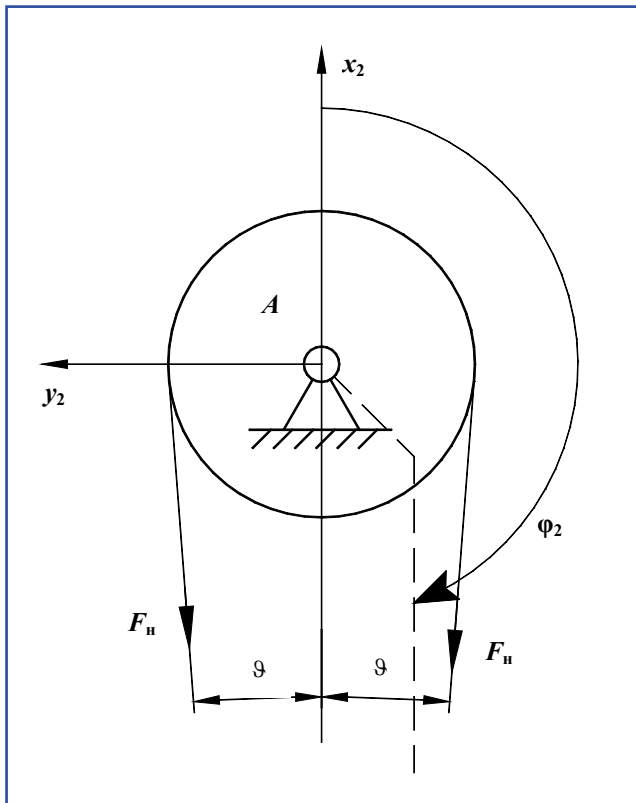


Рис. 5. Реакции в точке А

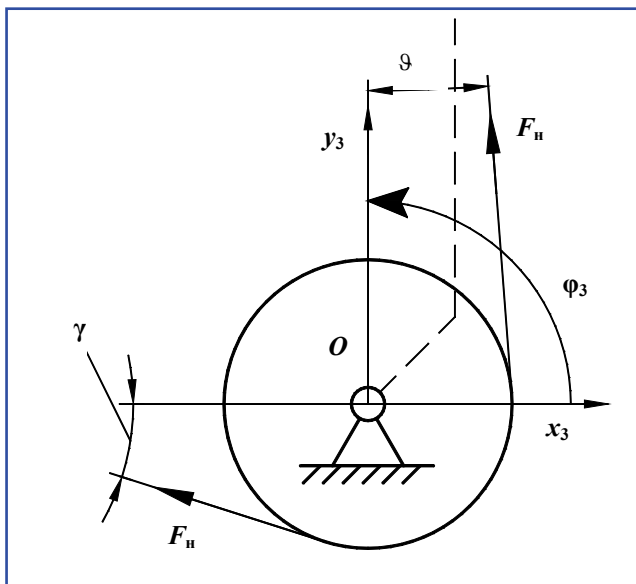


Рис. 6. Реакции в точке О

Проанализируем значения реакций R_x^1 и R_y^1 в исходном и конечном положениях:
исходное положение $\varphi_1 = 180^\circ$

$$R_x^1 = F_H (\cos \vartheta - \cos(180^\circ + \delta)) = F_H (\cos \vartheta + \cos \delta);$$

$$R_y^1 = -F_H (\sin \vartheta + \sin(180^\circ + \delta)) = -F_H (\sin \vartheta - \sin \delta);$$

конечное положение $\varphi_1 = 0^\circ$

$$R_x^1 = F_H (\cos \vartheta - \cos \delta);$$

$$R_y^1 = -F_H (\sin \vartheta + \sin \delta).$$

Рассмотрим подробно точку А (рис. 5).

Составим уравнения реакций в проекции на оси x_2 и y_2 локальной системы координат:

$$R_x^2 + F_H \cos(-180^\circ + \vartheta) + F_H \cos(-\varphi_2 - \vartheta) = 0;$$

$$R_x^2 = F_H (\cos \vartheta - \cos(\varphi_2 + \vartheta));$$

$$R_y^2 + F_H \sin(-180^\circ + \vartheta) + F_H \sin(-\varphi_2 - \vartheta) = 0;$$

$$R_y^2 = F_H (\sin \vartheta + \sin(\varphi_2 + \vartheta)).$$

Здесь отрицательные значения углов обусловлены тем, что они отсчитываются от оси x_2 по часовой стрелке.

Проанализируем значения реакций R_x^2 и R_y^2 в исходном и конечном положениях:

исходное положение $\varphi_2 = 180^\circ$

$$R_x^2 = F_H (\cos \vartheta - \cos(180^\circ + \vartheta)) = 2F_H \cos \vartheta;$$

$$R_y^2 = F_H (\sin \vartheta + \sin(180^\circ + \vartheta)) = 0;$$

конечное положение $\varphi_2 = 0^\circ$

$$R_x^2 = F_H (\cos \vartheta - \cos \vartheta) = 0;$$

$$R_y^2 = F_H (\sin \vartheta + \sin \vartheta) = 2F_H \sin \vartheta.$$

Рассмотрим подробно точку О (рис. 6).

Составим уравнения реакций в проекции на оси x_3 и y_3 локальной системы координат:

$$R_x^3 + F_H \cos(180^\circ - \gamma) + F_H \cos(\varphi_3 + \vartheta) = 0;$$

$$R_x^3 = F_H (\cos \gamma - \cos(\varphi_3 + \vartheta));$$

$$R_y^3 + F_H \sin(180^\circ - \gamma) + F_H \sin(\varphi_3 + \vartheta) = 0;$$

$$R_y^3 = -F_H (\sin \gamma + \sin(\varphi_3 + \vartheta)).$$

Проанализируем значения реакций R_x^3 и R_y^3 в исходном и конечном положениях:

исходное положение $\varphi_3 = 90^\circ + 11^\circ$

$$R_x^3 = F_H (\cos \gamma - \cos(90^\circ + 11^\circ + \vartheta)) =$$

$$= F_H (\cos \gamma + \sin(11^\circ + \vartheta));$$

$$R_y^3 = -F_H (\sin \gamma + \sin(90^\circ + 11^\circ + \vartheta)) =$$

$$= -F_H (\sin \gamma + \cos(11^\circ + \vartheta));$$

конечное положение $\varphi_3 = 0^\circ$

$$R_x^3 = F_H (\cos \gamma - \cos \vartheta);$$

$$R_y^3 = -F_H (\sin \gamma + \sin \vartheta).$$

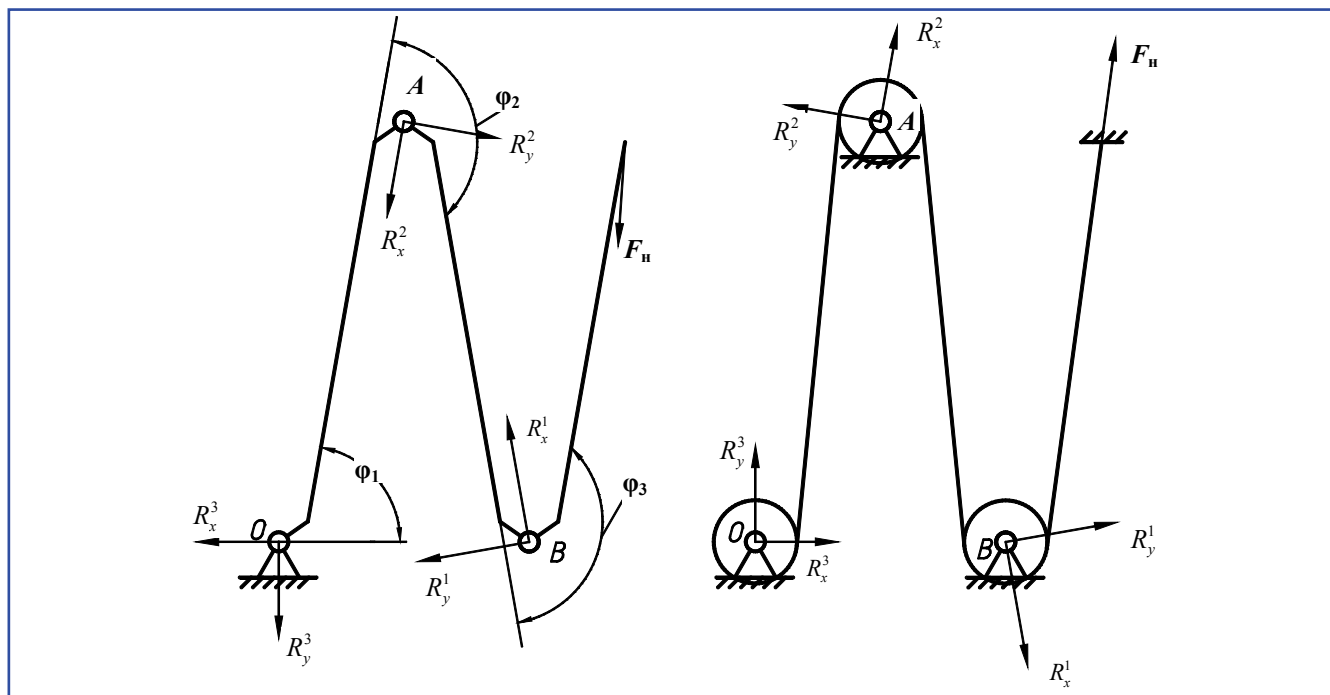


Рис. 7. Расчетные схемы с реакциями тросового механизма

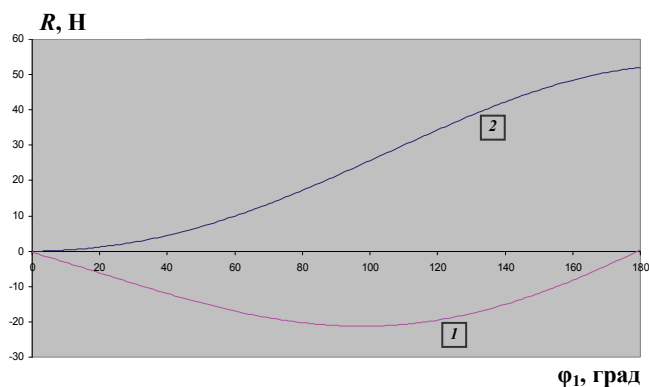


Рис. 8. Реакции в точке В:
1 – R_x^1 и 2 – R_y^1

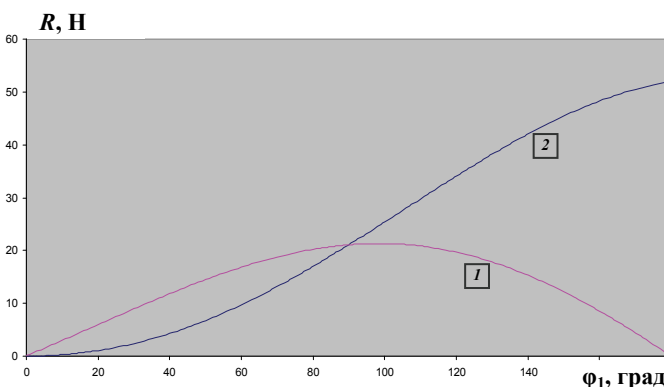


Рис. 9. Реакции в точке А:
1 – R_x^2 и 2 – R_y^2

Чтобы определить силы, обеспечивающие раскрытие каждого ложемент, необходимо приложить реакции в опорах O, A, B тросовой системы (рис. 3, б) как внешнюю нагрузку в схеме, показанной на рис. 3, а.

Сила натяжения троса F_n изменяется во время раскрытия от 26 Н в сложенном положении до 16 Н в раскрытом положении до включения двигателя.

Проанализируем величины реакций троса, чтобы определить возможные конфигурации ложементов, при которых сила натяжения троса складывает силовую раму. Из рис. 7 видно, что сила F_n на первом ложементе будет всегда направлена в одну сторону и момент от этой силы будет всегда раскрывать первый ложемент. Для раскрытия второго ложемент реакции R_x^1 должна быть положитель-

ной, а R_y^1 отрицательной. Для раскрытия первого ложемент реакции R_x^2 и R_y^2 должны быть положительными. На рис. 8 и 9 приведены графики изменения реакций в точках A и B .

Как видно из графиков, реакции в тросовом механизме будут всегда направлены на раскрытие силовой рамы, исключение составляет начальное положение, в котором реакция R_y^1 имеет небольшую положительную величину. При этом реакция R_x^1 имеет максимальную величину. Направление R_y^1 быстро изменяется на противоположное при раскрытии первой секции.

Для определения моментов удержания СР в раскрытом положении приложим реакции в тросовых

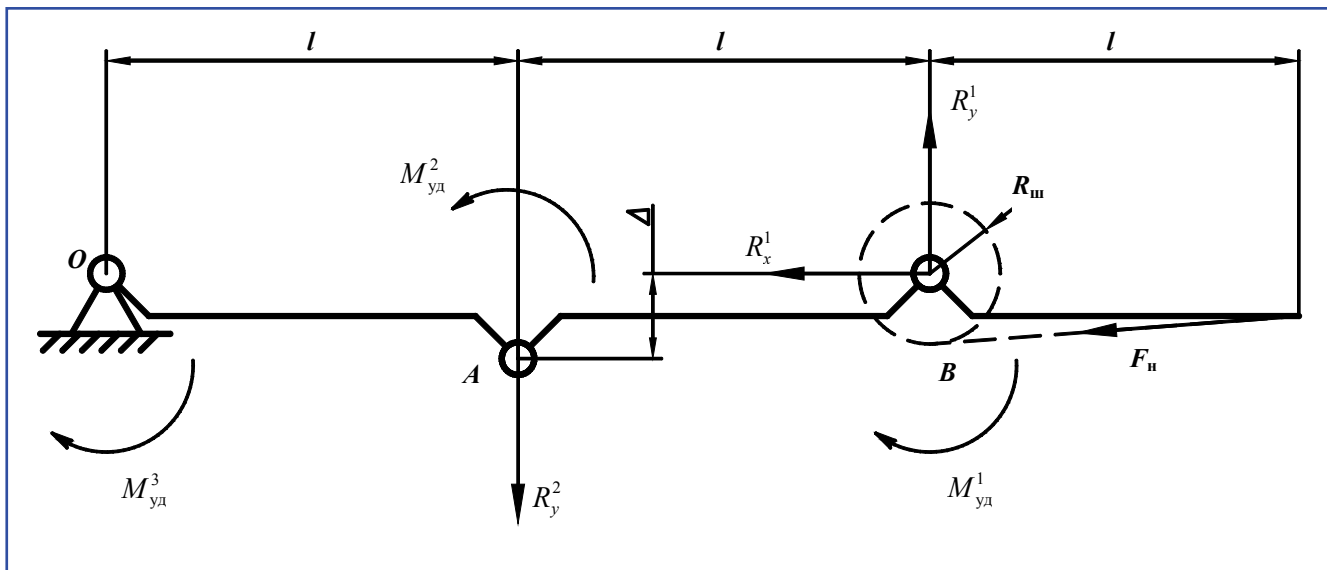


Рис. 10. Силы, действующие на раскрытую СР: $l = 2$ м; $R_{ш} = 0,046$ м; $\delta = 0,946^\circ$; $\vartheta = 0,201^\circ$; $\Delta = 0,085$ м

заделках как внешние силы к ложементам на схеме, показанной на рис. 3, а. Отрицательное значение реакций R_y^n говорит, что они направлены в противоположную сторону по оси y_n .

На рис. 10 приведена расчетная схема раскрытого положения СР ВЩА БРЛК, силы и моменты указаны с учетом направления.

Запишем уравнение для момента удержания первого ложемента:

$$M_{уд}^1 = F_n R_{ш}.$$

В раскрытом положении ложементы 1 и 2 составляют единое целое, поэтому сила F_n не влияет на момент удержания второго ложемента $M_{уд}^2$:

$$M_{уд}^2 = R_y^1 l + R_x^1 \Delta = F_n (l(\sin \vartheta + \sin \delta) + \Delta(\cos \vartheta - \cos \delta)).$$

В раскрытом положении ложементы 2 и 3 составляют единое целое, поэтому силы F_n , R_x^1 и R_y^1 не влияют на момент удержания третьего ложемента $M_{уд}^3$:

$$M_{уд}^3 = R_y^2 l = 2F_n l \sin \vartheta.$$

Исходя из вышеизложенного, можно рассчитать удерживающие моменты трех ложементов, так как известна величина F_n в раскрытом положении (она вычисляется из предварительного момента заводки пружины механического привода):

$$M_{уд}^1 = F_n R_{ш} = 0,736 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{уд}^2 = F_n (l(\sin \vartheta + \sin \delta) + \Delta(\cos \vartheta - \cos \delta)) = 0,672 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{уд}^3 = 2F_n l \sin \vartheta = 0,256 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Данные моменты рассчитаны без учета влияния магнитных упоров.

Конструкция механизма раскрытия, примененная в СР ВЩА БРЛК для КА «Метеор-М» №1, обеспечивает гарантированное раскрытие и удержание в раскрытом положении силовой рамы. Электромеханический привод можно использовать для увеличения момента удержания силовой рамы в раскрытом положении.

Поступила в редакцию 9.11.2009

Евгений Валентинович Кривобоков, нач. сектора, т. 623-40-22.
 Андрей Александрович Гусев, аспирант, ведущий инженер-конструктор, т. 623-41-08.
 Борис Владимирович Карбасников, нач. отдела, т. 623-59-81.
 Владимир Павлович Ходненко, д-р техн. наук, нач. лаборатории, т. 624-94-98.
 E-mail: vniiem@orc.ru.