

ФОРМИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ КИНЕМАТИКИ КРЫЛЬЕВ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Яковлев А.С.

Научный руководитель: Малышенко А.М., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, Институт кибернетики
E-mail: alexyakovlev90@gmail.com

Современные технические устройства, функционирующие в космическом пространстве, являются результатом многоступенчатой разработки, включающей в себя создание целого ряда служебных систем. Одной из обязательных составляющих любого космического аппарата (КА) является система энергоснабжения, которая в качестве источника электроэнергии в большинстве случаев использует солнечные батареи. Отличительной особенностью солнечных батарей на борту КА является механизм их раскрытия. Наличие механизма раскрытия солнечных батарей связано с необходимостью компактной транспортировки полезного груза на орбиту функционирования КА.

На определенных этапах разработки новых моделей механизмов раскрытия солнечных батарей производится их моделирование, которое требует формирования кинематической модели. В данной работе представлен способ получения уравнений кинематики механизма раскрытия солнечных батарей, основанный на принципе формализованного описания кинематических цепей манипуляторов. В настоящее время данный метод успешно применяется для

автоматизированного решения прямой задачи кинематики манипуляционных роботов [1-2].

Использование формализованного описания подразумевает собой представление кинематической схемы механизма в виде совокупности характеристических точек. Для каждого формализованного описанного элемента формируется набор параметров, содержащих всю необходимую информацию, на основе которой осуществляется построение матриц однородных преобразований систем координат. Таким образом производится перемещение между точками кинематической схемы механизма и дальнейшее формирование уравнений кинематики.

Используя указанный метод, определим уравнения кинематики механизма раскрытия солнечной батареи КА. Внешний вид механизма раскрытия в раскрытом состоянии представлен на рисунке 1. В раскрытом положении определены и отмечены характеристические точки, для которых далее будут получены уравнения кинематики раскрытия крыла солнечной батареи.

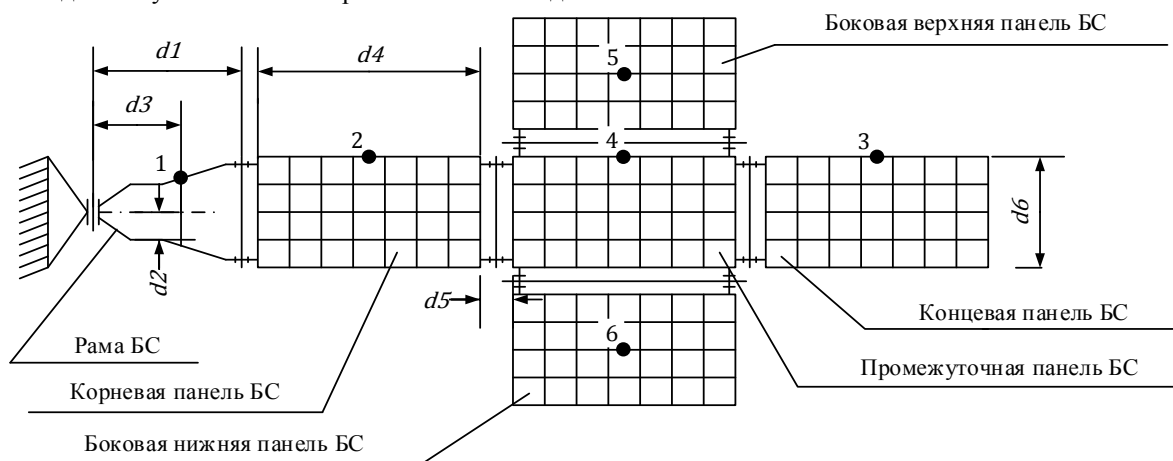


Рисунок 1 - Крыло солнечной батареи КА в раскрытом состоянии

На рисунке 1 отмечены:

- 1 – точка подвеса рамы БС;
- 2 – точка подвеса корневой панели;
- 3 – точка подвеса концевой панели;
- 4 – точка подвеса промежуточной панели;
- 5 – центр масс верхней боковой панели;
- 6 – центр масс нижней боковой панели;

Раскрытие КБС-Э происходит в 2 фазы. На первой фазе одновременно раскрываются рама, корневая, промежуточная и концевая панели БС.

Далее происходит раскрытие верхней и нижней боковых панелей.

Формализованное описание для каждой из точек формируется посредством описания переходов между двумя соседними шарнирными узлами раскрытия. Следует отметить, что в исходное формализованное описание кинематических цепей манипуляторов были внесены коррективы, а именно смещение оси вращательного сочленения. Подобные смещения

определяются спецификой используемых вращательных сочленений шарнирных узлов механической системы раскрытия крыльев солнечных батарей. Для таких шарнирных узлов предусмотрено смещение оси сочленения, с целью компактной транспортировки крыла в сложенном виде.

Пример формализованного описания для точки подвеса концевой панели:

LOR(1;10;0;0;0;0;0);
 LRR(2;10;20;-90;0;d1;-90;180);
 LRR(3;20;30;90;0;(d4+d5);90;180);
 LRR(4;30;40;-90;0;(d4+d5);-90;180);
 LRN(5;40;50;90;0;(d4+d5)/2;90;180);
 LNF(6;50;60;0;0;d6/2;0;0);
 J1R(10;1;2;-90;0;180;h1);
 J1R(20;2;3;180;0;180;h2);
 J1R(30;3;4;180;0;180;h3);
 J1R(40;4;5;180;0;180;h4);
 J0N(50;5;6).

Для простоты получим уравнения для первых трех точек подвеса солнечной батареи на первой фазе раскрытия крыла. В данной фазе все шарнирные узлы крыла солнечной батареи находятся в закрытом состоянии, открываются шарнирные узлы рамы и раскрываемых панелей. Боковые панели находятся в закрытом состоянии. С учетом углового смещения осей шарнирных узлов [3], взаимное отношение между углами их раскрытия следующее:

$$\gamma_1 = -\gamma_2 = \gamma_3 = -\gamma_4 = \gamma,$$

где γ_1 – угол раскрытия рамы БС;

γ_2 – угол раскрытия корневой панели БС;

γ_3 – угол раскрытия промежуточной панели БС;

γ_4 – угол раскрытия концевой панели БС.

Для получения кинематической модели крыла будем все использовать разработанное программное обеспечение [4]. Положение точек на первой фазе раскрытия будет описываться следующими уравнениями:

- уравнения точки подвеса рамы:

$$x_1(\gamma) = d_3 \cdot \cos(\gamma) + h_1;$$

$$y_1(\gamma) = d_3 \cdot \sin(\gamma) + h_1;$$

$$z_1(\gamma) = d_2.$$

- уравнения точки корневой панели:

$$x_2(\gamma) = \left(d_2 - \frac{d4 + d5}{2} \right) \cdot \cos(\gamma) -$$

$$- 2 \cdot h_2 \cdot \sin(\gamma) + h_1;$$

$$y_2(\gamma) = \left(d_2 + \frac{d4 + d5}{2} \right) \cdot \sin(\gamma) +$$

$$+ 2 \cdot h_2 \cdot \cos(\gamma) + h_1;$$

$$z_2(\gamma) = \frac{d_6}{2}.$$

- уравнения точки концевой панели:

$$x_3(\gamma) = \left(d_1 - \frac{d4 + d5}{2} \right) \cdot \cos(\gamma) -$$

$$- 2 \cdot (h_2 - h_3 + h_4) \cdot \sin(\gamma) + h_1;$$

$$y_3(\gamma) = \left(d_1 + \frac{5 \cdot (d4 + d5)}{2} \right) \cdot \sin(\gamma) +$$

$$+ 2 \cdot (h_2 + h_3 + h_4) \cdot \cos(\gamma) + h_1;$$

$$z_3(\gamma) = \frac{d_6}{2}.$$

Аналогичным образом могут быть получены уравнения кинематики для второй фазы раскрытия, а также для любой другой выбранной характеристической точки.

Вывод

Таким образом, вся сложность процесса формирования кинематической модели механизма раскрытия солнечных батарей сводится к определению параметров формализованного описания. Данный процесс может быть также упрощен за счет использования графического интерфейса, позволяющего осуществлять выбор требуемой характеристической точки механической системы, для которой по известному алгоритму будут формироваться уравнения кинематики.

Литература

1. Yakovlev A. Obtaining manipulators kinematic models from its formalised description// 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), IEEE Computer Society, May 21–23, 2015, Omsk, pp. 38–42.
2. Yakovlev A., Malysenko A. Automatic derivation of kinematic equations for robotic manipulators on the bases of formalised description of their kinematic chains. The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2014), IEEE Computer Society. October 21–23, 2014, Bangladesh, pp.22–26.
3. Асланов В.С., Юдинцев В.В. Динамика систем твёрдых тел переменной структуры. Электронное учебное пособие. Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. Режим доступа: http://www.ssau.ru/files/education/uch_posob/ (Дата обращения 17.10.2015).
4. Яковлев А.С., Малышенко А.М. Программное обеспечение для автоматического формирования моделей кинематики в символьной и численной формах для механизмов с разомкнутыми кинематическими цепями и сочленениями третьего, четвертого и пятого классов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013615109 от 28 мая 2013 г.