

УДК 629.786.2

## Моделирование динамики процесса раскрытия упругих солнечных батарей, снабженных системой тросовой синхронизации

Киселева Евдокия Константиновна

evdokiya.kiseleva12@rsce.ru

Урянский Иван Александрович<sup>(\*)</sup>

ivan.uryanskiy@rsce.ru

Борzych Сергей Васильевич

sergey.borzykh@rsce.ru

ПАО «РКК «Энергия», Королев, Московская обл., Россия

**Аннотация.** Разработана динамическая модель процесса раскрытия крупногабаритной солнечной батареи гипотетического космического аппарата, снабженной системой тросовой синхронизации. Обоснована актуальность учета упругих свойств конструкции элементов солнечной батареи, что обусловлено существующей тенденцией возрастания энергопотребления космических аппаратов и соответствующего увеличения размеров солнечных батарей. Указан принципиальный путь учета упругих свойств при записи уравнений связей элементов солнечной батареи. Приведены графики угловых скоростей, иллюстрирующие качественное различие твердотельных и упругих моделей.

**Ключевые слова:** космический аппарат, солнечные батареи, динамика процесса раскрытия, система тросовой синхронизации, упругая модель солнечных батарей

**Введение.** Обеспечение внешнего энергопритока космического аппарата (КА) является ключевым требованием, поскольку внутренней энергетики КА хватает лишь для выполнения ряда начальных динамических операций. Отказ системы раскрытия неизбежно ведет к деградации систем КА и его потере. Таким образом, крайнюю важность имеет надежность системы раскрытия СБ и обоснованность выбора характеристик ее элементов.

**Материалы и методы; результаты.** На наземных стендах не удастся в полной мере смоделировать условия раскрытия СБ в полете [1]. Отсюда следует необходимость предварительного расчета раскрытия, с учетом существенных особенностей процесса и собственных свойств системы (упругих свойств).

В исходном транспортировочном положении компактно сложенные СБ зафиксированы относительно корпуса КА. При раскрытии фиксирующие связи снимаются (раскрываются механические замки), и под действием приводов (пружины кручения) каждая пара элементов СБ разворачивается в конечное рабочее положение и фиксируется в нем.

Анализ показывает, что качество процесса раскрытия достигается, когда фиксация всех пар элементов СБ происходит в узком временном диапазоне, что приводит к минимальным возмущениям КА, обусловленным раскрытием СБ, и минимальным нагрузкам. В значительной мере это достигается системой тросовой синхронизации (рис. 1).

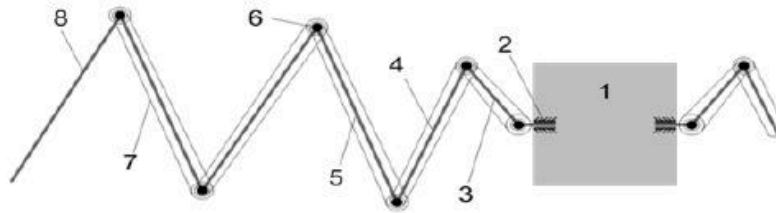


**Рис. 1.** Схема механической системы:

1 — КА; 2 — устройство поворота СБ; 3 — штанга; 4 — рама; 5 — панель 1;  
6 — узлы разворота; 7 — система тросовой синхронизации; 8 — панель 4

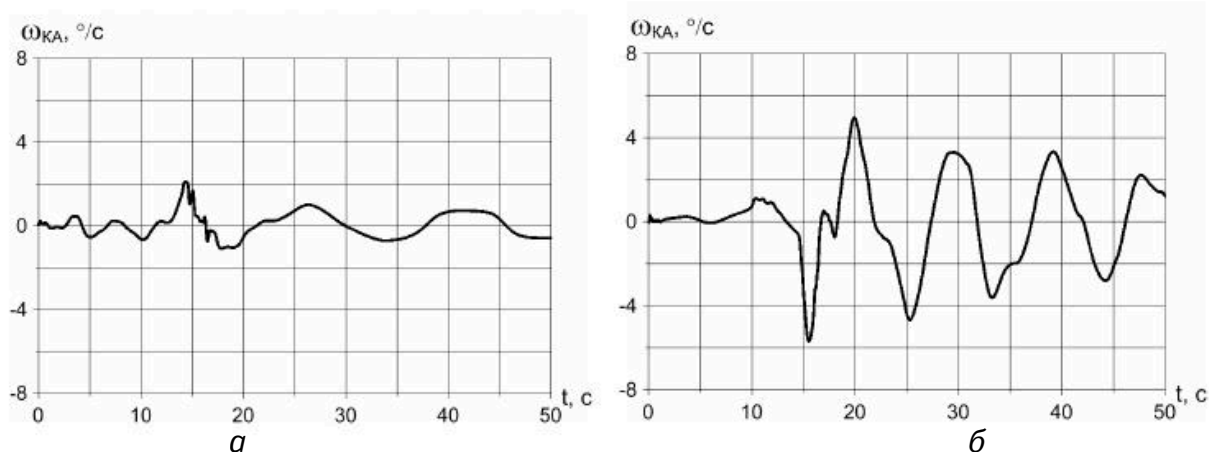


**Рис. 2.** Угловая скорость КА для твердотельной (а) и упругой (б) СБ

**Заключение.** Обычно при моделировании процесса раскрытия корпус КА и элементы СБ (панели, рамки, штанги) рассматриваются как абсолютно твердые тела, что допустимо при сравнительно небольших размерах СБ [2]. Однако при из-за возрастания энергопотребления КА и соответствующего роста размеров СБ необходимо учитывать упругие свойства. Это осуществляется путем добавления в уравнения связей вектора упругих деформаций общих точек каждой пары тел [3]. На рисунке 2 представлены результаты моделирования раскрытия СБ гипотетического КА для твердотельной и упругой моделей.

#### Список источников

- [1] Борzych С.В., Бычков Р.С., Терешина К.В. Анализ возможностей и ограничений наземной экспериментальной отработки процессов трансформации ракетно-космических конструкций. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, № 5, ч. 2, с. 102–107. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2022-6-2190>
- [2] Борzych С.В., Левитская Ю.Ю., Щиблев Ю.Н. Подход к моделированию динамики раскрытия крупногабаритных солнечных батарей космического аппарата. *Космическая техника и технологии*, 2019, № 1 (24), с. 95–106.
- [3] Лагутин И.А., Борzych С.В., Бычков Р.С., Киселева Е.К. Разработка библиотек для анализа процесса раскрытия солнечных батарей, импортируемых в проблемно-ориентированный пакет программ MSC ADAMS. *Гагаринские чтения. XLIX Междунар. молодежная науч. конф.: сб. тез.* Москва, Изд-во «Перо», 2023, с. 565–566.