

Новая схема раскрытия точного лепесткового зеркала

Одним из направлений современной радиоастрономии является наблюдение в сантиметровых и миллиметровых областях спектра. Рефлекторы радиотелескопов, работающих в этих диапазонах, как правило, представляют собой параболические зеркала [1-3]. Ввиду малой длины волны требуется высокая точность отражающей поверхности рефлектора. В данной работе предлагается новая, альтернативная классической, конструкция твердотельного лепесткового зеркала [4-5], в которой **реализовано двухэтапное раскрытие**. На первом этапе осуществляется **предварительное ненапряженное низкоточное развёртывание антенны**, а на втором – **высокоточная фиксация конечного состояния рефлектора** с использованием самоустанавливающихся замков. Такой подход позволяет повысить точность рефлектора антенны. Проведено компьютерное и физическое моделирование новой конструкции, а также предложен метод контроля повторяемости раскрытия макета антенны. Полученные результаты могут быть использованы в новых поколениях космических радиотелескопов.

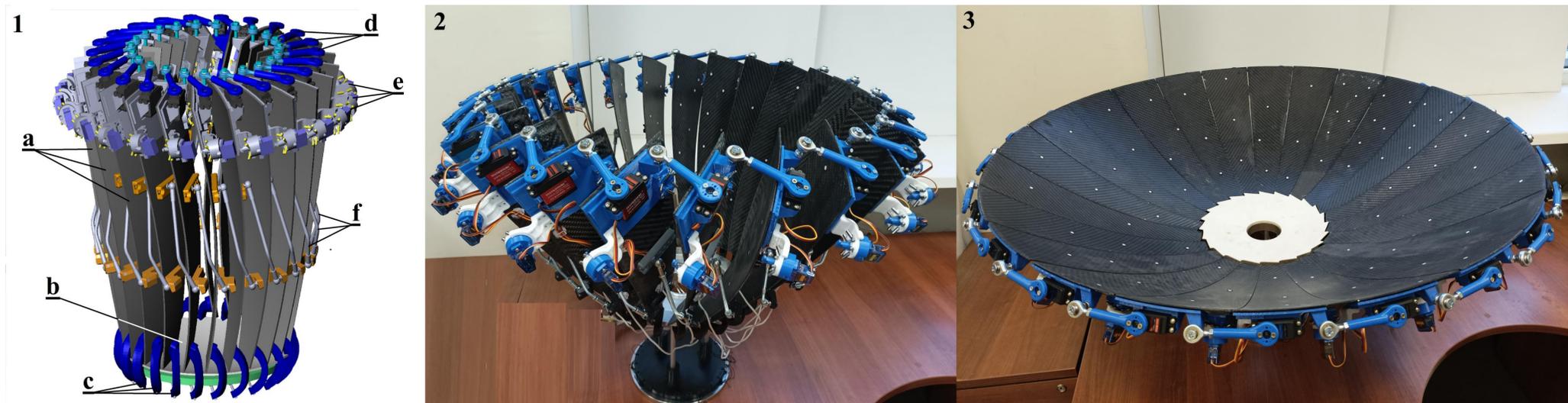


Рис.1 Этапы раскрытия макета зеркала. 1 - зеркало в сложенном состоянии, 2 - частично раскрытое зеркало, 3 - зеркало в раскрытом состоянии.

Описание новой конструкции

Развёртываемое зеркало (рис.1) состоит из набора лепестков (a) и центрального зеркала (b). Лепестки связаны с центральным зеркалом сферическими шарнирами (c). Раскрытие зеркала осуществляется в два этапа при помощи расположенных на верхней кромке каждого лепестка механизмов развёртывания (d) и замков высокоточной фиксации (e). Для придания дополнительной жёсткости в процессе раскрытия, каждый лепесток соединён с соседними специальными тягами (f). Предварительное ненапряженное низкоточное раскрытие антенны осуществляется механизмами развёртывания (рис.2), которые состоят из привода (a), рычага (b) и сферического шарнира (c). Развёртывание происходит за счёт синхронного поворота рычагов. Фрагмент 1 демонстрирует положение лепестков в полностью сложенном состоянии. Фрагмент 2 - в промежуточном. Фрагмент 3 показывает положение лепестков в конце этапа предварительного раскрытия.

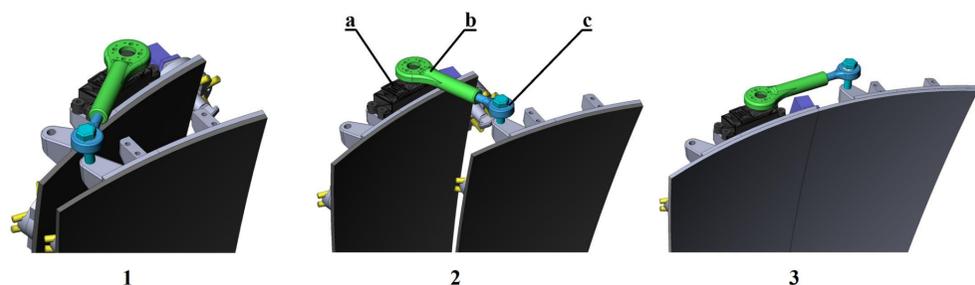


Рис.2 Предварительное раскрытие (2 лепестка). (a) - исполнительный механизм предварительного развёртывания, (b) - рычаг исполнительного механизма, (c) - сферический шарнир. 1 - положение лепестков в полностью сложенном состоянии, 2 - промежуточное положение лепестков, 3 - положение лепестков в конце этапа предварительного раскрытия.

Высокоточная фиксация конечного состояния рефлектора обеспечивается благодаря самоустанавливающимся замкам (рис.3), расположенным на внешних кромках лепестков. Замок состоит из двух элементов (a, b) и исполнительного механизма фиксации замка (c). В процессе предварительного раскрытия элементы замка совмещаются (фрагмент 1 и 2 рисунка 3), после чего активируется исполнительный механизм фиксатора. Он стягивает и выравнивает элементы замка, при этом происходит высокоточное выравнивание соседних лепестков. Фрагмент 3 демонстрирует положение двух лепестков в конце этапа высокоточной фиксации.

Заключение

В работе предложена новая, альтернативная классической, схема двухэтапного раскрытия точной лепестковой радиоастрономической антенны. Компьютерное моделирование и физическая модель диаметром 1 метр подтвердили работоспособность нового технического решения. Предложен метод контроля повторяемости раскрытия макета зеркала. Полученные результаты могут быть полезны при разработке антенн космических радиотелескопов нового поколения для сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

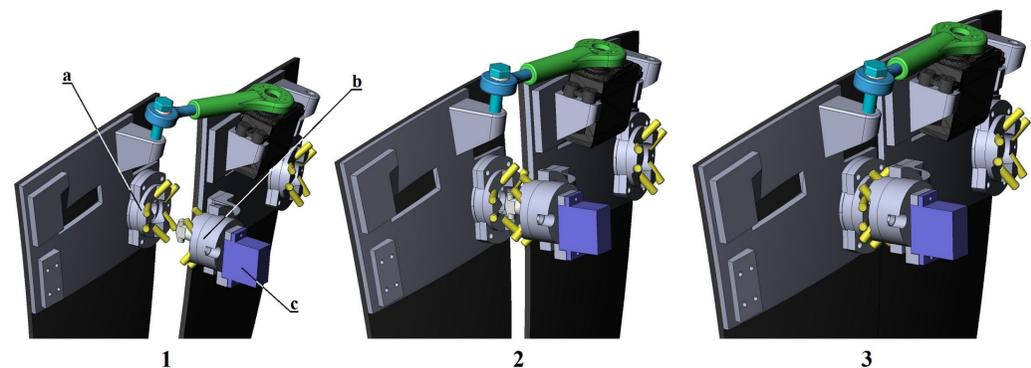


Рис.3 Высокоточная фиксация (2 лепестка). (a, b) - элементы самоустанавливающегося замка, (c) - исполнительный механизм фиксации замка. 1, 2 - совмещение элементов замка, 3- положение двух лепестков в конце этапа высокоточной фиксации.

Контроль повторяемости раскрытия методом 3D сканирования

Для проверки повторяемости раскрытия модели производилось два цикла развёртывания зеркала. В конце каждого цикла отражающая поверхность сканировалась. Использовался 3D сканер с разрешением 0.5 мм. Результаты сканирования обрабатывались в программе CloudCompare [6]. Анализ полей точек позволил выявить и измерить отклонения на всей поверхности зеркала (рис.4). Среднеквадратичное отклонение составило 0.6 мм при погрешности измерения 3D сканера в 0.5мм.

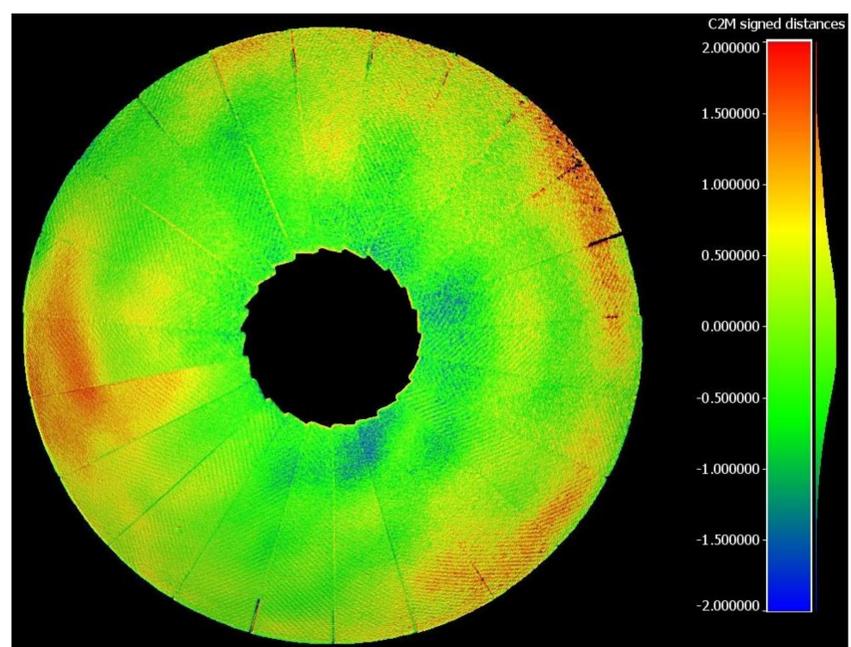


Рис.4 Контроль повторяемости раскрытия зеркала.

Список источников

1. Dornier, FIRST Technology study. Multisurface control mechanism for a deployable antenna. // Final report. RP-FA-D003, 1987.
2. Кардашев Н.С. и др. «Радиоастрон» – телескоп размером 300000 км: основные параметры и первые результаты наблюдений // *Астрономический Журнал*, 2013, 90, с.179-222.
3. Ковалев Ю. А. и др. 2014. Проект «Радиоастрон». Измерение и анализ основных параметров космического телескопа в полете в 2011-2013 гг. // *Космические исследования* 2014, том 52, № 5, с. 430-439.
4. Bujakas V. I., Glotov M. D. Computer simulation of a new deployment system for precise solid space reflector // *Proceedings of science, Volume 425 - MUTO2022 - Astronomical instruments and methods*. DOI: <https://doi.org/10.22323/1.425.0008>
5. Bujakas V. I. Isostatic adjustable structure for new petal space reflector deployment // *International Journal of Solids and Structures*, 2022, V. 238, 1, 111383. DOI: doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2021.111383
6. Cloud Compare [Электронный ресурс]: <https://www.cloudcompare.org/> (дата обращения 08. 04. 2025)