

Синтез механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон». 1. Возможности механизмов параллельной структуры для ориентации космического телескопа «Миллиметрон»

01, январь 2013

DOI: 10.7463/0113.0534292

Артеменко Ю. Н.

УДК 519.6

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН). Астрокосмический центр
altishenko@yahoo.com

Данная работа открывают серию из четырех публикаций, посвященных синтезу механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон», и является вводной для этой серии. Общая редакция серии выполнена Ю.Н. Артеменко и А.П. Карпенко.

В настоящее время под научным руководством руководителя Астрокосмического Центра (АКЦ) Физического Института им. П.Н. Лебедева РАН академика Н.С. Кардашева, учеными и специалистами АКЦ ФИАН, НПО им. С.А. Лавочкина и ОАО «Информационные спутниковые системы» им. М.Ф. Решетнева Роскосмоса, в кооперации с рядом российских и международных организаций в соответствии с Федеральной космической программой разрабатывается проект «Миллиметрон», направленный на создание космической обсерватории с 10-метровым криогенным радиотелескопом для работы в диапазоне длин волн 20 мм - 20 мкм. Обсерватория «Миллиметрон» предназначена для проведения исследований различных типов объектов Вселенной со сверхвысокой чувствительностью (в режиме одиночного телескопа) и рекордно высоким угловым разрешением (в режиме наземно-космического

интерферометра) в инфракрасном и миллиметровом диапазонах длин волн [1]. Сверхвысокая чувствительность космического телескопа достигается за счет криогенного охлаждения зеркала антенны, теплозащитных экранов и приемной аппаратуры жидким гелием (рисунок 1.1). Чувствительность такого телескопа соответствует чувствительности 100 метрового космического телескопа без охлаждения.

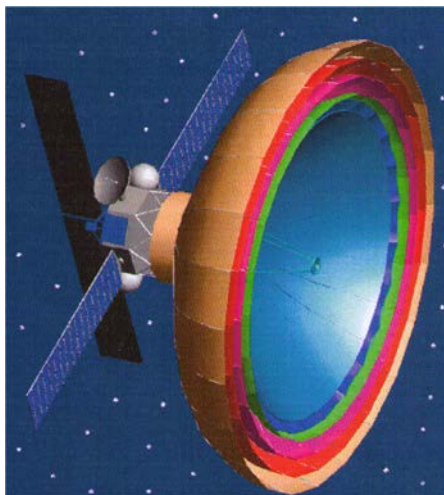


Рисунок 1.1 - Общий вид одного из вариантов космической обсерватории «Миллиметрон»

Обсерватория представляет собой установленную на космической платформе типа «Навигатор», используемой в проекте «Радиастрон», автоматически раскрываемую трехзеркальную антенну диаметром 10 м с коаксиальным активным и пассивным теплозащитными экранами. Главное зеркало антенны, смежный с ним активный теплозащитный экран, а также криоконтейнер научной аппаратуры охлаждаются жидким гелием до температуры 4,5 К, а приемная аппаратура - до 0,2 К. Главное зеркало образуется после раскрытия и фиксации между собой жестких прецизионных лепестков с адаптируемой отражающей поверхностью. Контррефлектор антенны диаметром 57 см располагается внутри главного зеркала в первичном фокусе антенны, что предотвращает попадание на него теплового излучения Солнца и Земли, а также зодиакального света. Контррефлектор оснащен гексаподным механизмом для юстировки антенны после раскрытия.

Третье плоское поворотное зеркало располагается в районе вторичного фокуса антенны в криоконтейнере и оснащено двухступенным механизмом для направления исследуемого излучения на один из приемников, располагающихся вокруг этого зеркала, и дополнительной юстировки.

Частота собственных колебаний конструкции антенны составляет примерно 5 Гц, а теплозащитных экранов – примерно 3 Гц. Точность рабочей поверхности главного зеркала антенны (среднее квадратичное отклонение) в процессе эксплуатации телескопа должна быть не хуже 10 мкм. Точность наведения антенны телескопа на исследуемые объекты должна быть не хуже 1", а точность стабилизации – не более 0,2".

Рекордное разрешение телескопа достигается в результате его совместной работы с большими наземными телескопами в режиме интерферометра на удалении от Земли до 1,5 млн. км. Для компенсации гравитационного воздействия Солнца и Земли центробежной силой, телескоп планируется запустить на орбиту в районе антисолнечной точки Лагранжа L2 с орбитой, перпендикулярной плоскости эклиптики.

В процессе разработки обсерватории «Миллимитрон» рассматривалось несколько вариантов конструктивных решений телескопа, обеспечивающих заданные технические характеристики. С позиций управления ориентацией телескопа для наведения на исследуемые источники, можно выделить два направления разработки.

Первое направление предполагает для защиты от теплового излучения Солнца и Земли использовать постоянную ориентацию продольной оси симметрии обсерватории и ее радиационных экранов на Солнце (рисунок 1.2).

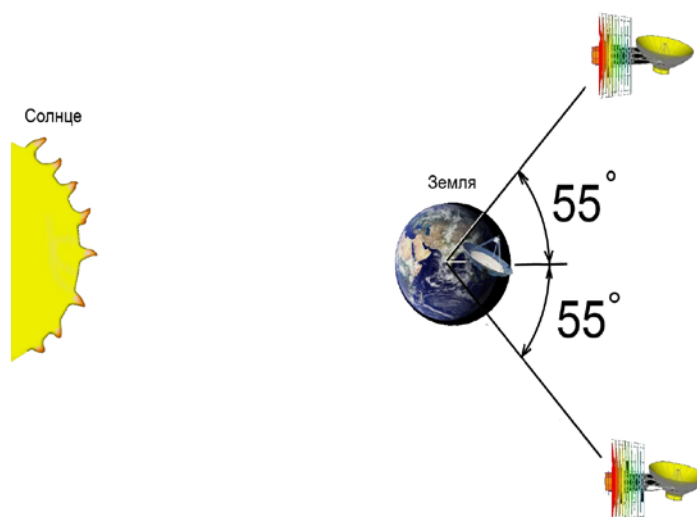
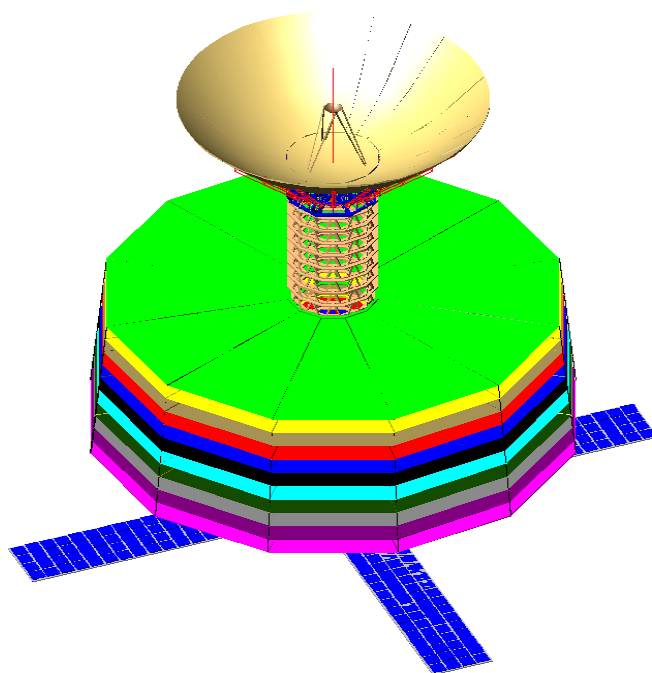
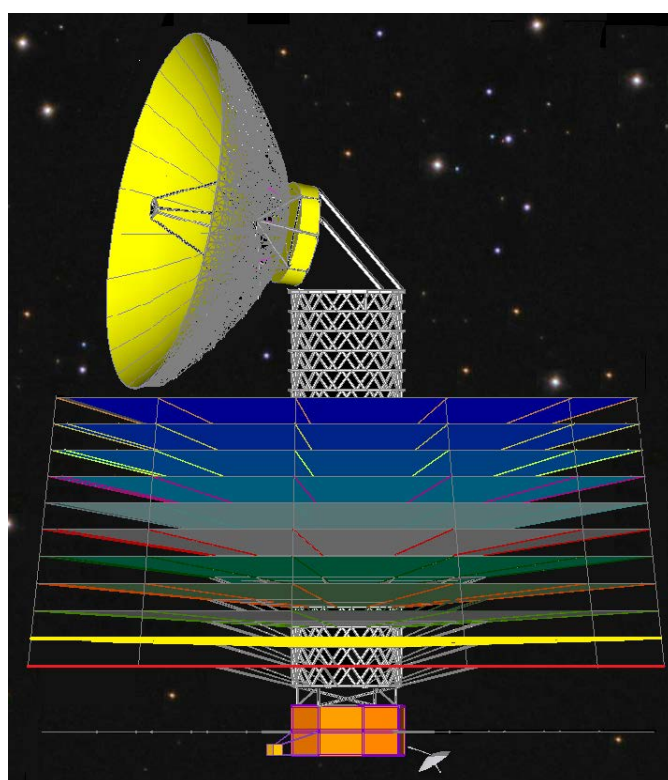


Рисунок 1.2 – Ориентация обсерватории «Миллимитрон» относительно Солнца

В этом случае для ориентации телескопа необходим поворот антенны относительно служебного модуля, на котором находятся реактивные двигатели коррекции, ориентации и стабилизации, а также двигатели-маховики. При этом сама антенна должна быть отодвинута от ближайшего к ней теплозащитного экрана на расстояние, превышающее радиус антенны, чтобы не задевать экран при повороте на 90° . Один из таких вариантов конструкции обсерватории, в котором в качестве опорного устройства антенны используется трансформируемая ферма, представлен на рисунке 1.3а. При этом обсерватория приобретает вытянутую гантелеобразную форму, с одной стороны которой размещен телескоп, а с другой – служебный модуль. Центр масс обсерватории оказывается примерно на середине гантели, поскольку массы телескопа и служебного модуля примерно равны. Положение центра масс обсерватории в этом случае сильно зависит от положения центра масс телескопа при его переориентациях, что приводит к необходимости парировать возникающие моменты с помощью двигателей служебного модуля.



а)



б)

Рисунок 1. 3 - Один из вариантов конструкции обсерватории

Наиболее простой механизм плоского поворота телескопа предполагает крепление криоконтейнера к краю опорной фермы

(рисунок 1.3б). Однако использование такого механизма приводит к отклонению центра масс телескопа от продольной оси симметрии обсерватории до 1,5 м, а центра масс обсерватории – до 1 м. Парировать возникающие при этом моменты с помощью двигателей-маховиков оказывается невозможным, а использование реактивных двигателей служебного модуля ограничено запасом топлива и требуемым сроком эксплуатации обсерватории, составляющем 10 лет.

Таким образом, неперенным условием наведения телескопа путем его поворота должно быть сохранение неизменным положения центра масс телескопа на продольной оси обсерватории или очень близким к этой оси. Помимо минимизации возникающих моментов, это требование обусловлено еще тем, что после наведения телескопа на заданный объект требуется его стабилизация для приема излучения. В зависимости от типа исследуемого объекта и научной программы исследования, необходимое время стабилизации телескопа составляет от 15 минут до нескольких часов. Для стабилизации телескопа следует минимизировать моменты, обусловленные внешними факторами - давлением солнечного света и «солнечного ветра» (поток солнечной плазмы, возникающий при вспышках на Солнце). Это достигается совмещением на продольной оси обсерватории ее центра масс и геометрического центра внешнего экрана. Для обеспечения указанных условий механизм поворота телескопа, кроме сохранения заданного положения его центра масс, должен еще иметь возможность проведения коррекции этого положения. Механизмы поворота телескопа, рассмотренные во второй и третьей публикациях серии, обеспечивают выполнение данных требований.

Вторая статья серии посвящена альтернативному варианту поворотного устройства телескопа, построенному на основе многосекционного манипулятора параллельной структуры. Рассмотрено разработанное авторами программного обеспечение, осуществляющее автоматизированный синтез 3D моделей манипулятора средствами *Solid Works* и «тяжелой»

графической системы NX 7.5 и её приложения «Симуляция кинематических механизмов». С помощью указанных моделей выполнено исследование нескольких манипуляторов. Здесь же приведено описание разработанного программного приложения, позволяющего решать прямую и обратную позиционные задачи для многосекционного манипулятора. Представлены некоторые результаты исследований, полученных с помощью этого приложения. Кроме того, в этой же статье рассмотрена *Simulink*-модель управляемого манипулятора. Приведены результаты исследования кинематики и динамики переходных процессов в манипуляторе.

Предложенный многосекционный манипулятор для наведения космического телескопа «Миллимитрон» позволяет решить следующие задачи: обеспечить выдвижение телескопа из транспортного положения в рабочее; наведение телескопа на любой пространственный угол в полусфере, ограниченной экранами системы охлаждения телескопа; сохранение неизменными положений центра масс телескопа и обсерватории (или очень близкими к ним) при наведении телескопа; коррекция положений центров масс телескопа и обсерватории; ориентация обсерватории; снижение стабилизирующих колебаний телескопа; разгрузка двигателей-маховиков и другие задачи.

В третьей статье серии рассматривается вариант поворотного устройства телескопа, предполагающего использование механизма двойного маятника и двухкоромыслового механизма. Предложен метод синтеза плоских шестизвенных механизмов с тремя степенями свободы, обеспечивающих такое изменение ориентации антенны космического телескопа, которое оставляет неподвижным центр масс этой антенны. Метод позволяет определить все неизвестные размеры звеньев механизма, углы их поворота, а также передаточную функцию механизма.

Рассмотренные во второй и третьей статьях механизмы параллельной структуры при всей их привлекательности и обеспечении поставленных требований к наведению космического телескопа «Миллимитрон» не были

приняты к реализации, поскольку конструктивные решения телескопа, разработанные на их основе, не смогли обеспечить главную задачу всего проекта – создание криогенного телескопа. Рассмотренные механизмы требуют надежной работы при сверхнизких температурах (4,5 К) многочисленных шарниров, двигателей и датчиков; приводят к значительным изгибам информационных и силовых кабелей, а также трубопроводов с жидким гелием, соединяющих криоконтейнер со служебным модулем. Такие механизмы также с трудом вписываются в максимально допустимый полезный объем под обтекателем ракеты-носителя. Тем не менее, выполненные разработки механизмов параллельной структуры могут быть использованы в других космических проектах.

Второе направление конструктивного решения телескопа с позиции управления наведением и учетом криогенного исполнения основано на традиционной схеме космических телескопов. Антенна устанавливается на космической платформе через нижнюю переходную ферму, приборный «теплый» контейнер и верхнюю переходную ферму (рисунок 1.1). Наведение телескопа осуществляется двигателями-маховиками, установленными на служебном модуле, путем изменения ориентации всей обсерватории. При этом чтобы защитить телескоп от теплового излучения Солнца и Земли с помощью экранов, углы поворота обсерватории не превышают 30° от направления на Солнце. Это обстоятельство резко сокращает число потенциально наблюдаемых объектов. Тем не менее, это число остается достаточным для выполнения научной программы проекта. Наведение телескопа путем разворота обсерватории приводит к неравномерному солнечному освещению внешнего экрана по отношению к его геометрическому центру и центру масс обсерватории, что приводит к ее закручиванию и необходимости постоянной работы системы стабилизации. Это, в свою очередь, вызывает колебания конструкции обсерватории. Таким образом, данный вариант конструктивного решения телескопа требует

внедрения системы активного виброгашения и высокоточного наведения на основе механизмов параллельной структуры.

Основным содержанием четвертой статьи серии является концепция построения интеллектуальной системы активной виброзащиты и высокоточного наведения телескопа «Миллиметрон». Необходимость создания такой системы для любой конструкции обсерватории следует из предъявляемых к ней высоких точностных требований. Следует отметить, что системы ориентации и стабилизации существующих и перспективных КА не в состоянии обеспечить требуемую точность наведения традиционными средствами. Кроме того, крупногабаритные космические антенны представляют собой протяженные конструкции, как правило, малой жесткости, раскрываемые на орбите. Поэтому низкочастотные колебания упругих элементов конструкции антенны и КА, возникающие от микродинамических воздействий в процессе орбитального полета, способны привести к отклонению рабочей поверхности и фактической оси зеркала антенны за допустимые пределы и, как следствие, к ухудшению ее радиотехнических характеристик. Есть данные, что высокочастотные колебания упругих элементов конструкции при криогенных температурах, возникнув, не затухают. Таким образом, решение проблемы учета вибрации и высокоточного наведения и стабилизации актуально для создания космического телескопа «Миллимитрон».

Развитие работ по синтезу механизмов ориентации космического телескопа «Миллиметрон» требует решения следующих задач:

- расчет конструкции на жесткость;
- определение частот собственных колебаний конструкции;
- вычисление моментов инерции, которые должны парировать двигатели-маховики КА при переориентации антенны телескопа;
- синтез оптимальных траекторий перевода антенны из заданного в требуемое положение;

- синтез адаптивных классических и нейросетевых систем управления приводами антенны.

В серии используется двухуровневая нумерация фрагментов текста, формул, рисунков и таблиц. Первая часть номера представляет собой номер публикации, а вторая часть – номер объекта в этой публикации.

Список литературы

1. Wild W., Kardashev N.S., Babakin N.G., Arkhipov V.Y., Vinogradov I.S., Andreyanov V.V., Fedorchuk S.D., Myshonkova N.V., Alexsandrov Y.A., Novokov I.D., Goltsman G.N., Cherepaschuk A.M., Shustov B.M., Vystavkin A.N., Koshelets V.P., Vdovin V.F., de Graauw Th., Helmich F., Vd Tak F., Shipman R., Baryshev A., Gao J.R., Khosropanah P., Roelfsema P., Barthel P., Spaans M., Mendez M., Klapwijk T., Israel F., Hogerheijde M., Vd Werf P., Cernicharo J., Martin-Pintado J., Planesas P., Gallego J.D., Beaudin G., Krieg J.M., Gerin M., Pagani L., Saraceno P., di Giorgio A.M., Cerulli R., Orfei R., Spinoglio L., Piazzo L., Liseau R., Belitsky V., Cherednichenko S., Poglitsch A., Raab W., Guesten R., Klein B., Stutzki J., Honingh N., Benz A., Murphy A., Trappe N., Räisänen A. Millimetron - a large Russian-European submillimeter space observatory // *Experimental Astronomy*. 2009. Vol. 23, no. 1. P. 221-244. DOI: 10.1007/s10686-008-9097-6

Synthesis of orientation mechanisms for the space observatory «Millimetron». 1. Capabilities of parallel mechanisms for orientation of the space observatory «Millimetron»

01, January 2013

DOI: 10.7463/0113.0534292

Artemenko Yu.N.

The Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences. Astro Space Center

altishenko@yahoo.com

This paper is an introductory start of a series of four papers dedicated to design of parallel mechanisms for orientation of the space observatory «Millimetron». General description of the «Millimetron» project is provided in this paper. Variations of the space observatory design concepts are considered. The whole series of papers is briefly described. The «Millimetron» project is aimed at creation of a space observatory with a 10-meter cryogenic radar telescope which is capable of working within the waveband from 20 mm to 20 μ m. The «Millimetron» observatory is designed for conducting investigations of various types of highly sensitive objects (single telescope mode) and record high angular resolution (ground-space interferometer mode) within the infrared and millimeter ranges of wave length. Very high sensitivity of a space telescope is achieved by means of cryogenic cooling of an antenna reflector, thermal shields and receiving equipment with liquid helium.

Publications with keywords: [radio telescope](#), [space observatory «Millimetron»](#), [parallel mechanism](#)

Publications with words: [radio telescope](#), [space observatory «Millimetron»](#), [parallel mechanism](#)

References

1. Wild W., Kardashev N.S., Babakin N.G., Arkhipov V.Y., Vinogradov I.S., Andreyanov V.V., Fedorchuk S.D., Myshonkova N.V., Alexsandrov Y.A., Novokov I.D., Goltsman G.N., Cherepaschuk A.M., Shustov B.M., Vystavkin A.N., Koshelets V.P., Vdovin V.F., de Graauw Th., Helmich F., Vd Tak F., Shipman R., Baryshev A., Gao J.R., Khosropanah P., Roelfsema P., Barthel P., Spaans M., Mendez M., Klapwijk T., Israel F., Hogerheijde M., Vd Werf P., Cernicharo J., Martin-Pintado J., Planesas P., Gallego J.D., Beaudin G., Krieg J.M., Gerin M., Pagani L., Saraceno P., di Giorgio A.M., Cerulli R.,

Orfei R., Spinoglio L., Piazzo L., Liseau R., Belitsky V., Cherednichenko S., Poglitsch A., Raab W., Guesten R., Klein B., Stutzki J., Honingh N., Benz A., Murphy A., Trappe N., Räisänen A. Millimetron - a large Russian-European submillimeter space observatory. *Experimental Astronomy*, 2009, vol. 23, no. 1, pp. 221-244. DOI: 10.1007/s10686-008-9097-6