

РАДИОТЕЛЕСКОПЫ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ АНТЕННЫ

Дубаренко В.В.¹, Кучмин А.Ю.¹, Артеменко Ю.Н.²

¹*Институт проблем машиноведения Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург;*

²*Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук, г. Москва*

Ключевые слова: радиотелескоп, объект управления, Суффа, радиоизлучение, РТ-70.

Аннотация. В статье излагаются принципы построения одного из вариантов регулируемой поверхности строящегося радиотелескопа РТ-70 «Суффа» (Узбекистан). Радиотелескопы (РТ) представляют собой уникальные измерительные приборы, выполненные на грани научных, технических и технологических возможностей, предназначенные для фундаментальных исследований объектов ближнего и дальнего космоса посредством радиосвязи. РТ являются сложными электромеханическими системами, объединяют в себе большинство характерных свойств динамических объектов, которые описываются нелинейными дифференциальными уравнениями высокого порядка и служат хорошим "полигоном" для отработки на них общезначимых теоретических разработок в областях динамики машин и процессов их управления. Поэтому научные результаты, полученные при исследовании динамических свойств РТ, могут быть распространены на электромеханические объекты другого прикладного применения.

Введение

В связи с неуклонным ростом требований к точности формирования динамических процессов в сложных электромеханических системах, современные методы их анализа и синтеза все меньше удовлетворяют целям функционирования таких систем. Одной из причин неудовлетворенности является недостаточная изученность их поведения и связанная с этим проблема создания адекватных математических моделей подвижных (динамических) объектов (ДО). Кроме того сами требования часто плохо формализуются, носят декларативный характер. Другой причиной является чрезмерная вычислительная трудоемкость методов формирования динамических процессов, т.е. процессов управления.

Задачи автоматического управления условно можно разделить на два класса: класс задач проектирования, в которых решаются принципиальные вопросы построения регуляторов объектов управления в соответствии с принятыми критериями качества, и класс задач функционирования ДО в реальном времени.

Проблемы, стоящие в задачах проектирования и специфика принятия проектных решений при создании традиционных систем управления хорошо известны, сравнительно четко обозначены и изучены. В итоге эти задачи сводятся к вариационным задачам и решаются с применением методов математического программирования. При этом трудоемкость задач проектных решений не имеет решающего значения.

Специфика задач функционирования ДО в реальном времени состоит в том, чтобы периодически, за заданный, сравнительно малый интервал времени на

вычислительном устройстве успеть провести вычисления определенного объема. Эти вычисления связаны с численным интегрированием систем дифференциальных уравнений, решением системы линейных неравенств, определением значений вещественных и логических функций и др. Результатом вычислений является вектор управляющих воздействий на ДО как объект управления, обеспечивающих получение требуемых динамических процессов с заданной точностью.

В большинстве практических случаев регуляторы ДО, в том числе с самонастройкой и адаптацией к внешним воздействиям, из-за жестких ограничений, связанных с производительностью вычислительных устройств, не содержат решателей, опирающихся на поисковые процедуры, характерные для неклассических методов управления

При управлении нелинейными нестационарными ДО, на фазовые координаты которых наложены произвольные ограничения типа неравенств, классические методы управления оказываются непригодными. К числу неклассических задач управления, к которым неприменимы классические методы, можно отнести такие задачи, как управление транспортными средствами при наличии препятствий, парковка транспортных средств с учетом их динамики, управление летательными аппаратами в нечетко определенной обстановке, управление электроприводами наведения крупных радиотелескопов при ограничениях на мощность, ток, крутящий момент и др. Подобные задачи связаны с решением весьма трудоемких неклассических вариационных задач переборными методами [1].

Основное содержание

Развитие миллиметровой радиоастрономии в мире, потребности в крупных радиотелескопах мм диапазона для фундаментальных и прикладных задач, в т.ч. для наземных и наземно-космических радиоинтерферометров, а также отсутствие возможности их строительства на территории России по географическим и астроклиматическим параметрам, привело к необходимости подготовки соответствующего международного плато «Суффа» (Узбекистан).

Долгострой радиотелескопа в Суффе (рис.1), связанный с развалом СССР, является одной из причин, почему в теперешней России нет инструментов миллиметрового диапазона для исследования космического пространства. Но это только часть причины.



Рис. 1. Строящийся радиотелескоп на договора между Россией и Узбекистаном

Другим фактором было навязывание рядом ответственных лиц в РАН, Минобрнауки и ФАНО предложений о заморозке работ по Суффе, как не перспективных, требующих больших финансовых затрат и перекрывающих развитие российской астрономической инфраструктуры. В то же время научно и технически обоснованных предложений по созданию новых телескопов не появилось, что и понятно, для их сооружения по территории России в силу астроклиматических и географических условий нет места. Это показал проведенный в 2015г. по инициативе Администрации Президента РФ при участии РАН, Минобрнауки России и ФАНО России конкурс на отборку перспективных астрономических инфраструктурных проектов на 2016-2025гг. По группе российских мега-проектов с международным участием был отобран проект завершения строительства радиотелескопа РТ-70 миллиметрового диапазона. Еще одним фактором торможения процесса явилась бюрократическая неувязка между ведомствами, отвечающими за науку. Сначала между РАН и Минобрнауки, а затем к ним присоединилось ФАНО России. Ни одно из этих ведомств не имело юридически-правовых оснований для возложения на них функций головной организации, финансирующей строительство научного объекта за рубежом. Неоднократные обращения в Правительство РФ решить этот вопрос заканчивались выпуском поручений, где предлагалось заинтересованным ведомствам договориться между собой и представить согласованное решение. Чего никогда не происходило. В то же время, актуальность создания МРАО «Суффа» была четко обозначена в заявлении Президента РФ В.В. Путина в ходе его официального визита в Узбекистан в декабре 2014г.: «В научно-техническом сотрудничестве наиболее важный проект – сооружение в Узбекистане Международной радиоастрономической обсерватории «Суффа». Она будет оснащена крупнейшим радиотелескопом РТ-70, который позволит осуществлять уникальные научные исследования, в том числе космическую связь. В последующем затем выходе ряда поручений Президента РФ говорилось о необходимости подготовки и утверждения устава МРАО «Суффа» и ее реализации. Тем не менее, вопрос сдвинулся с мертвой точки. Только в 2018г., когда было создано Министерство науки и высшего образования РФ, а академические институты перешли к нему в подчинение.

Летом 2018 автор этой статьи имел честь участвовать в совещании у президента РАН академика А.М. Сергеева по вопросу возобновления строительства РТ-70. Все участники совещания, в том числе ак. А.М. Сергеев, ак. Г.В. Трубников, ак. Н.С. Кардашев, ак. Г.А. Месяц, чл.-корр. Н.Н. Колачевский и др., поддержали предложение о создании международной обсерватории «Суффа» и начале строительства РТ.

Но чтобы перейти к этапу строительства необходимо провести ряд работ, связанных с актуализацией проекта. К ним относятся работы по обследованию состояния объекта, корректировке проекта, завершение НИР по разработке современных систем РТ-70. Президент РАН проинформировал совещание о своей поездке по указанию правительства РФ в Узбекистан, встречах с Президентом АН РУз и в Правительстве РУз. Была достигнута договоренность о подготовке и подписании Президентами национальных академий в 2018г. Дорожной карты на 2018-2019г.г., а также о завершении подготовки, подписании проекта Устава

МРАО «Суффа» и проекта Межправпротокола о внесении изменений в Соглашение о создании МРАО «Суффа». Особенностью этих документов стало определение Дирекции МРАО «Суффа» как заказчика всех работ по созданию комплекса МРАО «Суффа». Государственным органом, финансирующим МРАО «Суффа» с российской стороны является Минобрнауки России, а ФИАН – головной организацией с российской стороны по реализации соглашения. По крайней мере он будет выполнять эту функцию до начала функционирования Дирекции МРАО «Суффа».

Участники совещания посетили плато Суффа (Узбекистан, 300 км. от Ташкента в сторону таджикской границы), на котором, как подбитая птица на высоте около 2500 м, покоится остов недостроенного радиотелескопа. Посещение было организовано, чтобы убедиться, что еще не все потеряно, что достроить телескоп обойдется дешевле, чем построить заново. Да и место лучше не отыскать.

Среди участников совещания, посетивших Суффу на (рис.2), представлены – с Российской стороны: Президент РАН ак. А.М. Сергеев, Первый зам. министра Минобрнауки РФ ак. РАН Г.В. Трубников, Вице-президент РАН ак. Ю.Ю. Балега, директор ФГБУН «Физического института им. П.Н. Лебедева РАН» чл.-корр. РАН Н.Н. Колачевский, заместитель директора Международного департамента МИНОбрнауки РФ В.М. Смирнов, Заместитель руководителя АКЦ ФИАН Ю.Н. Артеменко, Главный научный сотрудник ФБГУН «ФИЦ ИПФ РАН» В.Ф. Вдовин, Главный научный сотрудник ФБГУН «ИПМаш РАН» В.В. Дубаренко;

– от Узбекской стороны: Президент АН РУз, академик АН РУз Б.С. Юлдашев, Вице-президент АН РУз, проф. С.З. Мирзаев, Руководитель отделения физико-математических и технических наук АН РУз, академик АН РУз С.А. Бахрамов, Директор Астрономического института АН РУз, академик АН РУз Ш.А. Эгамбердиев Директор обсерватории «Суффа» Г.И. Шанин, Зав.лабораторией Физико-технического института АН РУз С.Л. Лутпуллаев.



Рис. 2. Участники совещания по вопросам создания МРАО «Суффа»

Участники совещания в целях подтверждения научной значимости и предлагаемых научно-технических решений создаваемого РТ-70 договорились провести в августе 2018г. международное рабочее совещание «Современное состояние и перспективы радиообсерватории на плато Суффа в Узбекистане».

Это совещание, для краткости называемое Work Shop, состоялось в конце августа. В нем приняли участие 42 человека, представляющих научные и промышленные организации в области астрономии, создания и эксплуатации РТ из России, Узбекистана, Нидерландов, Китая, а также из Италии в режиме телеконференции. Сопредседателями конференции были вице-президент РАН ак. Ю.Ю. Балега и директор Астрономического института АН РУз ак. Ш.А. Эганбердиев. Были рассмотрены актуальные научные задачи для РТ-70, технические предложения для достижения необходимых параметров работы в мм-диапазоне, исследования астроклимата на плато Суффа, возможные проекты сотрудничества с другими обсерваториями, взаимодействия с космическим проектом «Миллиметрон», особенностях радиотелескопов «Альма» в Чили и создаваемого 110м РТ в Китае и ряд других вопросов. Участники совещания выразили поддержку проекту МРАО «Суффа» и договорились провести очередной Work Shop осенью 2019г. в Москве.

Одновременно с проведением Work Shop рабочая группа в составе Н.Н. Калачевского, Ю.Н. Артеменко, Г.И. Шанина и А.М.Романова завершила подготовку Дорожной карты, которая и была подписана президентами национальных академий 10.10.2018г в ходе официального визита Президента РФ В.В. Путина в Республику Узбекистан.

В наибольшей степени участников совещания, от которых непосредственно зависит принятие решений, интересовал вопрос, какой «бренд» - набор ценностных характеристик будет иметь уже достроенный радиотелескоп, по сравнению с другими работающими радиотелескопами мм-диапазона.

В результате обмена мнениями, нами сформулированы основные отличия, которые должен иметь РТ-70, выгодно выделяющие его в ряду других РТ с регулируемой поверхностью ГЗ.

Во-первых, щиты отражающей поверхности ГЗ должны быть механически независимы и управляться автономно посредством гексаподов [2].

Во-вторых, отражающая поверхность ГЗ, образованная щитами, должна перемещаться как твердое тело, сохраняя исходную форму параболоида неизменной [3].

В-третьих, необходимо признать, что радиоизлучение является потоком незаряженных частиц постоянной массы, испускаемых источником излучения со стартовой скоростью, равной скорости света, и сохраняющих, согласно закону Ньютона, равномерное прямолинейное движение на неограниченном расстоянии. Электромагнитное поле является другим видом материи, создается зарядами, имеет локальное действие и убывает с увеличением расстояния от источника излучения.

Принадлежность поверхностей щитов только одному параболоиду с фиксированными параметрами, при любом положении ГЗ, а не множеству аппроксимирующих параболоидов, вычисляемых в соответствии с принципами гомологии металлоконструкции зеркала, обусловлена несоответствием кривизны поверхности щита, кривизне аппроксимирующего параболоида, в который этот щит нужно вставить. Поверхность аппроксимирующего параболоида, со вставленными в него щитами, всегда будет иметь вид «черепицы» при свободных углах щитов, или сложной статически неопределимой фигуры. При

«заневоленных» углах, с помощью длинных шпилек, необходимую точность можно получить только уменьшением размеров щитов и увеличением их числа. Поэтому отражающая поверхность ГЗ, образованная щитами, должна перемещаться как твердое тело, сохраняя исходную форму параболоида неизменной. А щиты должны быть механически независимы и управляться автономно посредством гексаподов. Такая форма управления поверхностью ГЗ в полноповоротных РТ не имеет аналогов и обеспечивает точность поверхности 0.02 мм. Это и есть «бренд». Лучший из полноповоротных РТ мм-радиодиапазона, с регулируемой поверхностью, LMT (Мексика) обеспечивает точность поверхности 0.075 мм. Для сравнения: GBT (Green Bank, USA) – 0.24 мм., SRT (Sardinia, Italy) – 0.15 мм., Tianma (China) – 0.3 мм.

Принцип гомологии применительно к ГЗ РТ, заключается в том, что при проектировании металлоконструкции ГЗ, структура и параметры ферменного каркаса подбираются с таким расчетом, чтобы при изменении его углового положения, деформации, вызванные собственным весом, распределялись особым образом. Так, чтобы форма отражающей поверхности ГЗ оставалась близкой к параболической [4].

Основным доводом в пользу «гомологии» является то, что ее реализация приводит к уменьшению длины хода штоков актуаторов на краях ГЗ. Однако, конечно-элементные расчеты CAD моделей РТ-70 на Ansys в СПбГПУ [1] показали, что деформации конструкции не превышают 70 мм, в то время как деформации на GBT превышают 500 мм., на SRT – 30 мм. На РТ «Суффа» может быть реализован принцип автономного регулирования щитов с помощью гексаподов, который обеспечивает наивысшую точность приближения поверхности ГЗ к теоретической, при сравнительно допустимых величинах (100 мм) хода штоков актуаторов.

Возможность ухода от использования принципа гомологии к ГЗ РТ, а следовательно, и построения аппроксимирующих параболоидов и связанных с этим большим количеством измерений, вычислений, управлением и движением щитов и КР, появляется при замене металлоконструкций ГЗ РТ на углепластиковые. Подобная конструкция ГЗ, КР и щитов из углепластика реализуется в настоящее время при создании 110м РТ в Китае. Об этом китайские ученые рассказали на Work Shop по Суффе в августе 2018г. Современные достижения в материаловедении и технологии позволяют создавать значительно более легкие и достаточно долговечные конструкции, обладающие заранее рассчитанными параметрами, снижающими гравитационные, температурные и ветровые деформации. На этих конструкциях, практически без снижения их характеристик, можно установить закладные элементы для средств контроля, адаптации, силовых и информационных кабелей. Щиты отражающей поверхности ГЗ в этом случае следует делать больших размеров, как на LMT в Мексике. Изготовление элементов каркаса ГЗ, КР и щитов из углепластика могут осуществляться в России, а их укрупнение и юстировка перед монтажом на РТ-70 могут проходить на Суффе в уже построенном монтажно-испытательном корпусе с большим по габаритам залом. Кроме того, по внешнему контуру ГЗ РТ следует установить из легкого светоотражающего материала, в виде пленки или щитов, защитный экран от солнечного нагрева, выдерживающего ветровую, дождевую и

снеговую нагрузку. При этом для сохранения равномерной температуры по конструкциям ферменного каркаса ГЗ и внутренней поверхности щитов достаточно будет перемешивать воздух в пространстве между экраном и щитами с помощью вентиляторов. Использование новых материалов и технологий при изготовлении ГЗ РТ снизит затраты на изготовление и монтаж оборудования и ускорит сроки создания РТ-70.

Представление радиоизлучения в форме потока радиочастиц (корпускул) [5] имеет очевидные преимущества в том смысле, что радиоизлучение в мм диапазоне можно сравнивать или находить аналогии излучению в оптическом диапазоне и использовать накопленный в оптике арсенал средств в устройствах радиодиапазона.

Перспективными на наш взгляд являются модели корпускулярной системы радиосвязи, в которых сложные процессы электромагнитного взаимодействия полей с веществом заменяются импульсными взаимодействиями корпускул с веществом в виде осцилляторов, с последующей время-импульсной демодуляцией полезного сигнала в цифровых радиоприемниках нового типа.

В системах управления приводами следует отметить одну существенную особенность. Она заключается в том, что в прямой цепи управления электродвигателем всегда существует усилительное звено, выходной сигнал которого имеет ограничение. Если не учитывать этой нелинейности, то синтезированная система управления будет либо физически нереализуемой, либо - функционирующей в узкой зоне фазового пространства. Процессы оптимального управления всегда связаны с выходом компонент вектора состояния и управляющего воздействия на ограничения. Поэтому в настоящей работе рассмотрена система управления, в которой управляющее воздействие принимает только два предельных значения со знаком (+ или -). При этом численно исследованы два алгоритма управления. Первый алгоритм связан с поиском весов квадратичного функционала, обеспечивающего качество переходного процесса по управляющему и возмущающему воздействиям по заданным параметрам при условии, что управляющее воздействие принимает только два предельных значения. Второй алгоритм связан с поиском коэффициентов обратных связей по разности текущего и желаемого состояний объекта управления при ограничениях на управление и вектор состояния.

Оба алгоритма дали схожие результаты. Система управления позволяет, путем автофокусировки элементов зеркальной системы РТ, с применением лазерных, гироскопических, оптических средств измерений и вычислений, обеспечить в режиме наблюдения КО на частоте 300 ГГц следующие параметры:

- точность наведения электрической оси ЗС – 3 угл.с;
- точность поверхности главного зеркала 0.02 мм.
- чувствительность радиоприемника к потоку радиоизлучения – 10^{-30} ват/м² Гц.

Заключение

Рассмотренные выше предложения по улучшению конструкции и систем РТ-70 являются основой для выполнения научно-исследовательских работ по разработке современных систем комплекса МРАО «Суффа» миллиметрового диапазона в рамках актуализации Проекта, что предусмотрено Дорожной картой

по созданию МРАО «Суффа». Эти работы должны быть выполнены в течении 2019-2020гг. и завершены разработкой проектов технических заданий на ОКР и изготовление систем и агрегатов радиотелескопа РТ-70. Финансирование на ОКР на РТ-70 будет происходить по смете стройки МРАО «Суффа» через Дирекцию МРАО «Суффа», как заказчика по созданию всего комплекса, что и предусмотрено в проекте Устава МРАО «Суффа» и проекте Межправпротокола о внесении изменений в Соглашение о создании МРАО «Суффа».

«Реанимирование» радиотелескопа РТ-70 «Суффа» с регулируемой поверхностью главного зеркала и создание на его базе Международной радиоастрономической обсерватории позволит России и Узбекистану ликвидировать отставание от ведущих стран мира в фундаментальных исследованиях и освоении космического пространства в мм-диапазоне радиоизлучений, и даже выйти вперед за счет оригинальных технических и научных решений.

Список литературы

1. Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю., Артеменко Ю.Н. Радиотелескопы – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 484 с.
2. Vladimir V. Dubarenko, Andrew M. Korniyushin, Vugar GA Kurbanov. Automatic Control Panel Module SEMS / Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Smart Electromechanical Systems. Group Interaction / Springer International Publishing. 2018.
3. Система автоматического наведения радиотелескопа / Артеменко Ю.Н., Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Кучмин А.Ю. и др. Патент на изобретение (заявка №2006125897) ФИПС от 03 июля 2007.
4. Система автоматического наведения на максимум радиосигнала / Дубаренко В.В. и др. Авторское свидетельство (заявка №1108884) Гос. Комитет СССР по делам изобретений и открытий, приоритет от 10 августа 1982.
5. Vladimir Dubarenko. Corpuscular Model of Radio Emission / International Journal of Mechanical Engineering and Automation (Int. J. Mech. Eng. Autom. Amanda, Editors Department IJMEA, USA Ethan Publishing Company). Vol. 3, Number 1, 2016, pp. 40-45.

Сведения об авторах:

Дубаренко Владимир Васильевич – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории интеллектуальных электромеханических систем ИПМаш РАН, г.Санкт-Петербург;

Кучмин Андрей Юрьевич – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории интеллектуальных электромеханических систем ИПМаш РАН, г.Санкт-Петербург;

Артеменко Юрий Николаевич – к.т.н., заместитель руководителя АКЦ ФИАН по созданию обсерватории «Суффа», г.Москва.

RADIOTELESCOPES WITH AN ADJUSTABLE SURFACE OF ANTENNA

Dubarenko V.V., Kuchmin A.Yu., Artemenko Yu.N.

Keywords: radio Telescope, control object, Suffa, radio emission, RT-70.

Abstract. The report describes the principles of construction of one of the variants of the controlled surface of the radio telescope RT-70 "Suffa" under construction (Uzbekistan). Radio telescopes (RT) are unique measuring instruments made on the verge of scientific, technical and technological capabilities, designed for fundamental research of objects of near and far space by means of radio

communication. RT are complex Electromechanical systems that combine most of the characteristic properties of dynamic objects, which are described by nonlinear differential equations of high order and serve as a good "pligon" for testing on them generally important theoretical developments in the field of dynamics of machines and their control processes. Therefore, the scientific results obtained in the study of the dynamic properties of RT can be extended to Electromechanical objects of other applications.

References

1. Dubarenko V.V., Kuchmin A.Yu., Artemenko Yu.N. Radio Telescopes – SPb.: Publishing house of Polytechnical Institute, 2014. – 484 p.
2. Vladimir V. Dubarenko, Andrew M. Korniyushin, Vugar GA Kurbanov. Automatic Control Panel Module SEMS / Andrey E. Gorodetskiy, Irina L. Tarasova. Smart Electromechanical Systems. Group Interaction / Springer International Publishing. 2018.
3. System automatic pointing of the telescope / Artemenko Yu.N., Gorodetsky A.E., Dubarenko V.V., Kuchmin A.Yu. Patent for invention (No. application 2006125897) FIPS on 03 July 2007.
4. Vladimir Dubarenko. Corpuscular Model of Radio Emission / International Journal of Mechanical Engineering and Automation (Int. J. Mech. Eng. Autom. Amanda, Editors Department IJMEA, USA Ethan Publishing Company). Vol. 3, Number 1, 2016, pp. 40-45.

УДК 623.488

<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2019-2-137-140>

СТАБИЛИЗИРОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ-ДИАПАЗОНА

*Янчевский Д.Н., Слабченко В.С., Сериков Д.Д.
АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Ключевые слова: пайка, фазовые шумы, генератор, СВЧ, припой, флюс, виброиспытания.

Аннотация. В данной статье рассматривается один из способов стабилизации характеристик изделия, используемых в ракетной промышленности, при виброустойчивости. Параметры прибора зависят не только от технологии изготовления, но и от других составляющих: конструкции, электротехнических параметров узлов в изделии, настройки. В работе описано изменение метода изготовления генератора сигнала.

Для решения проблем, связанных с нестабильностью шумовых параметров генераторов был применен измененный метод пайки.

Согласно этой технологии, соединение облуженных деталей с корпусом осуществляется путем тщательной притирки и отсутствием флюса, что позволяет устранить воздушные пузыри под платами и разрушить окисную пленку на поверхности расплавленного припоя, это дает сплошное слияние на контактируемых облуженных поверхностях.

Данный маршрут определяет порядок пайки поликоровых плат и ферритовых микрополосковых вентилей в корпуса модулей СВЧ и другие сборочные единицы. Этапы технологии приведены ниже.

1. Нанесение флюса на детали и на места в корпусе прибора, подлежащие облуживанию при помощи кисти.

2. Облуживание экранной поверхностей сборочных единиц и посадочных мест в корпусе припоем.