

О проблемах модернизации радиотелескопа РАТАН-600

Начну с опровержения утверждения, что никто не знает, что нам нужно получить, чтобы его корректно сформулировать для тех, кто хочет нас осчастливить модернизацией. Мы не только знаем, но уже получили пусть и на нескольких щитах РАТАН-600. Для этого мы не только разобрались в том, что нужно сделать, но и построили кинематические 3D модели существующего и модернизированного щита с учетом специфики всех 4-х осей элементов Кругового и Плоского отражателей, разработали новые чертежи того, что нужно изготовить, а это не один десяток новых деталей в частности для ШРУСа и крепежной оснастки новых приводов и редукторов, а затем все это с участием СЭК РАТАН-600 собрали и протестировали в работе. Для проведения точностных и ресурсных испытаний модернизированного щита разработано программное обеспечение под OS Linux. Разработана структурная схема АСУ радиотелескопа в целом. Можем поэтому поделиться своими соображениями со всеми, кто этого еще на РАТАНе не понял или делает вид, что не понял.

Наиболее сложной частью определения параметров модернизации являются необходимые требования для реализации динамических режимов работы. Достаточно сказать, что в режиме “бегущая парабола” за время длительного сопровождения требуется не менее 9 млн. синхронных перестановок всех элементов Кругового отражателя (КО) и 1 млн. синхронных перестановок элементов Плоского отражателя (ПО), итого 10 млн. дискретных перестановок, тогда как в обычном режиме многоазимутальных наблюдений за то же время обычно выполняется не более 10 тыс. несинхронных перестановок элементов КО и ПО, т.е. объем работы АСУ за единицу времени должен вырасти не менее чем на 3 порядка, причем работать АСУ должна в режиме реального времени. Соответственно также на порядки должна возрасти надежность АСУ и исполнительных элементов АСУ. Требуемое максимальное время изменения антенны для волны 8 мм составляет по ранее сделанным и нашим оценкам 0.144 с. Время реализации одной перестановкой антенны зависит от скорости движения щитов и составит 0.218 с при нынешней скорости движения и 0.0218 с при увеличении скорости движения щита на порядок. В последнем варианте щиты будут 15% времени синхронно двигаться, а 85% времени синхронно стоять в процессе сопровождения, а в первом варианте они будут двигаться непрерывно и даже при этом доступный коротковолновый диапазон будет ограничен волной 1-2 см. Если в последнем варианте время движения щитов и связанные с ним помехи и паразитные эффекты можно будет бланкировать и выбрасывать из записи, то в первом варианте сопровождение будет идти на фоне помех и инструментальных изменений сигнала, которые непросто будет отличить от изменений сигнала быстропеременного источника.

Режим реального времени для такого количества одновременно управляемых с высокой точностью элементов накладывает серьезную нагрузку даже на современные контроллеры и протоколы обмена данных, не говоря о механических узлах. О какой старой кинематике щитов, которую отстаивают на РАТАНе здесь можно вести речь, о каких бронзовых гайках из нового или старого справа – все это начнет сыпаться даже без новых режимов работы, а уже при попытке повысить продуктивность существующих наблюдений сразу после такой “модернизации”. Чтобы в этом убедиться достаточно подойти к щиту во время его установки и послушать звук и скрежет от трения металла о металл даже при нынешних очень медленных скоростях перемещения или заглянуть на наш сайт по проекту модернизации Р-600, где все это есть <http://www.spbf.sao.ru/project2020>. Напомню, что по проблеме аварийности бронзовых гаек в конце 90-х на РАТАНе собиралась Межведомственная комиссия под руководством Э.И.Коркина и признала проблему очень серьезной и в нынешнем

варианте винтов неразрешимой и кроме регулярного смыва с них абразива, а значит регулярной тродоемкой сборки-разборки щитов ничего не смогла предложить. Если же не повышать даже только продуктивность существующих режимов работы, не говоря уже об освоении новых то в чем смысл такой модернизации? Только в том чтобы избежать стремительного роста расходов и времени на ремонт антенны? Это должно быть следствием, а не целью модернизации!

С целью оценки необходимых и главное реализуемых параметров необходимо учесть в первую очередь опыт уже проделанной нами работы, в том числе в рамках программы ЦКП. А нами на существующей конструкции щитов с использованием отечественных ШВП качения вместо винтовых пар скольжения с весьма скромными по точности характеристиками, специально разработанными для РАТАНа ШРУСами вместо карданов и современными серво-приводами получены параметры, превосходящие потребности любых возможных мыслимых и немыслимых режимов работы, а также на порядок повышающие продуктивность существующих, а именно:

1. Скорость движения щита КО выросла в 15 раз.
2. Повторяемость позиционирования щита выросла на порядок с $СКО=0.15$ мм до $СКО=0.015$ мм.
3. Точность позиционирования щита выросла по разным координатам в 3-6 раз и в частности по радиусу в 4 раза с 0.24 мм до 0.06 мм (СКО).
- 4б. Энергопотребление для установки щита в заданное положение упало более чем на порядок.
5. Надежность позиционирования щита выросла не менее чем на два порядка.

Напомню, что модернизированный щит N721 в полностью автоматическом режиме прошел 200 тыс. проходов всего диапазона движения по углу и по радиусу, не имея ни одного сбоя кроме ожидаемого быстрого обрыва старого троса и падения контр-груза в результате чего из-за резкого изменения нагрузки сработала его защита, но это практически не сказалось на качестве его дальнейшей работы. Напомню также, что несколько щитов на Южном и на Северном секторах РАТАН-600 оборудованных ШВП с ШРУСами успешно участвуют в регулярных наблюдениях в течение 10 лет без каких-либо замечаний со стороны СЭК РАТАН-600. В настоящее время 124 щит ПО силами СЭК успешно собран в модернизированном варианте и его точностные и ресурсные испытания начнутся как только это позволит обстановка в стране. Для тех скептиков кто нас 10 лет назад упрекал в авантюризме в плане применения ШВП на РАТАНе сообщу, что уже десятки тысяч ШВП Бош-Рексрот круглосуточно работают по всей стране в открытых условиях, там где ходят скоростные Сапсаны, Аллегро, Ласточки стрелки на рельсах РЖД уже давно переводят ШВП Бош-Рексрот.

Достигнутое нами быстроедействие в некоторой степени даже избыточно для любых новых режимов работы инструмента но оно позволяет повысить производительность наблюдений в режиме прохождения в 2-3 раза на Севере с подвижным фокусом и на порядок на АС "Ю+П" с неподвижным, а также в режиме неподвижного фокуса на Севере и чистом Юге.

По нашим оценкам с учетом паспортных данных разработанного для ПО варианта ШВП Бош-Рексрот с контроллерами и абсолютными энкодерами БОШ-Рексрот на валу серво-

двигателей точность позиционирования щитов возрастет в сравнении с нынешней в 5-7 раз. При этом отпадет необходимость введения подавляющего большинства кинематических поправок кроме разновысотности, наклона/разворота угломестных осей и с высокой вероятностью отпадет необходимость в механизме выборки люфта с блоками, тросами и контр-грузами. ШВП имеет собственный механизм выборки микролюфта, а разработанные для щита РАТАН-600 ШРУСы также имеют собственные антилюфтовые механизмы и не требуют дополнительных внешних механизмов выборки люфта.

Таким образом, все основные параметры быстродействие, повторяемость и энергопотребление можно улучшить на порядок, надежность повысить на 2 порядка, а точность позиционирования как минимум в 5 раз. И это достигается без переделки конструкции щитов. Для повышения точности позиционирования на порядок также не требуется изменения конструкции щита, а можно применить готовое решение по замене винтовой пары герметичным электромеханическим цилиндром с встроенным ШВП или РВП и прецизионной внутренней системой измерения (магнитной или оптической линейкой), которые серийно выпускает компания Бош-Рексрот, но оно будет стоить в несколько раз дороже ШВП. Но в этом и нет необходимости, поскольку радиотелескоп проектировался для работы в диапазоне до 8 мм с возможным расширением диапазона по ряду задач до 4 мм и его не нужно модернизировать до космического корабля, чтобы он взлетел – куда целесообразнее построить новый полноповоротный миллиметровый радиотелескоп ~20м на высоте более 3000 м и работа в этом направлении в стране и в САО РАН сегодня ведется.

Основная задача модернизации РАТАН-600 – повысить продуктивность, эффективность и наблюдательные возможности радиотелескопа в проектном диапазоне волн до 8 мм (7 мм) с выходом по некоторым задачам на 4 мм (3мм) т е в близком соответствии с проектными возможностями радиотелескопа. Следствие модернизации – резкое снижение затрат и потерь времени на ремонт и выполнение регламентных работ.

Точность поверхности щитов с радиусом корреляции ошибок 20 см можно улучшить существующими методами юстировки и последующей стабилизации в 4 раза с 0.55 мм до 0.15 мм (СКО). Это многократно снизит широкое рассеяние за пределами главного лепестка диаграммы направленности и потенциально увеличит эффективную площадь поверхности в коротковолновом диапазоне волн.

Оперативность и точность фазирования и настройки элементов ГЗ можно существенно повысить применением радиоглографии и автоматическим контролем КПД (вклада) щитов. Здесь время юстировки может сократиться на порядки а точность привязки элементов может повысится в несколько раз и реально достигнуть 0.085 мм (СКО).

Точность поверхности вторичных зеркал можно улучшить современными геодезическими средствами с нынешних 0.3-0.5 мм до 0.1 мм (СКО).

Для точного статического и динамического позиционирования облучателя в диапазоне волн до 8 мм должна быть существенно повышена точность радиальных и дуговых рельсовых путей и восстановлены направляющие ролики перед колесами облучателя. Разработан также высокоточный вариант колес облучателя с биконической поверхностью катания.

Как результат можно ожидать достижения интегральной СКО антенной системы в рабочем положении не хуже 0.25 мм, т.е. в 3.5-4 раза лучше, чем достигается сегодня.

При этом диапазоны перемещения всех 895 щитов КО, размером 1940x7400 мм + закрылки 1500 мм с каждой стороны и 124 щитов ПО размером 8500x3100 мм остаются проектными, а именно:

0-1080 мм по радиусу

-2°+53° по углу

+6° по азимуту

для КО

и 0-70° для ПО.

Скорость перемещения щита по радиусу возрастет с 1.4 мм/сек до 14 мм/сек

Скорость поворота щита по углу возрастет с 3.54'/сек до 35.4'/сек

Скорость поворота щита по азимуту возрастет с 0.7'/сек до 7'/сек

Погрешности остановки щита в заданном положении уменьшатся в сравнении с проектными в 5 раз:

с +0.1 мм до +0.05 мм по радиусу

с +20'''(+15'' для ПО) до +4''(3'') по углу

с +40'' до +8'' по азимуту

Узлы, устройства и системы, безусловно подлежащие модернизации:

1.Винтовые пары скольжения четырех типа-размеров и длин с диапазонами перемещения 108 оборотов по радиусу, 127 оборотов по углу, 68 оборотов по азимуту и 142 для ПО .

2.Конический и планетарный редукторы с передаточным числом $i=1.84$ и $i=91.1$ и общим $i=169.46$

3.Карданный узел.

4.Электродвигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором (550 Вт, 1400 об/мин)

5.Аналоговые датчики поворота (сельсины)

6.Аналоговые цепи

7.Контроллеры и вся АСУ

Требуемый режим работы АСУ – синхронный (режим реального времени), в качестве линии связи применяется витая пара до медиаконвертеров и далее оптоволокно.

Предпочтительная структура АСУ двухуровневая – нижний и верхний уровни с элементами коммутации на среднем уровне (в домиках управления). Контроллеры движения на сотню и более осей современные приводные системы позволяют размещать

прямо на верхнем уровне управления, минуя средний. Предпочтительная топология подключения приводов кольцевая. Протоколы – синхронные SERCOS-III у Бош-Рексрот или Profinet у Siemens как более доступный вариант.

Замена существующих кинематических элементов на новые, а именно винтовой пары скольжения на ШВП, конического и планетарного редукторов на герметичный гибридный редуктор, карданного узла на разработанный ШРУС позволила повысить КПД системы в 2.5-3 раза, применение современных серво-приводов с встроенным электротормозом позволило реализовать плавный режим разгона и торможения щита вместо старт-стопного и исключить проворачивание ШВП под действием экстремально сильных ветровых нагрузок. Предложенная кольцевая топология существенно повышает надежность АСУ.

Указанные и уже достигнутые параметры модернизированных щитов и другие необходимые меры обеспечат высокую антенную эффективность радиотелескопа не хуже 45% на волне 10 мм при существующей эффективности не более 15%. Они позволят уверенно освоить диапазон до 7 мм по источникам континуума и спектральным линиям (мониторинг AGN, блазаров в континууме и SiO мазеров на 43 ГГц). По отдельным направлениям исследований в частности мониторинга активности Солнца можно будет продвинуться в диапазон 3-4 мм. Длительное сопровождение источников там, где это имеет смысл, может быть реализовано в диапазоне волн до 8 мм при условии реализации высокоточной АСУ движения облучателя. В частности это имеет смысл для Солнца, пульсаров и быстропеременных вспыхивающих пекулярных объектов в диапазоне волн до 8 мм. Считать, что сопровождение на РАТАНе будет полезно для большинства классов объектов принципиально неверно. В АПП в процессе сопровождении объекта будет неизбежно изменяться его антенная температура из-за изменения вклада разных щитов, пропускание атмосферы на разных углах и в разных направлениях, фон Земли от широкого рассеяния, вклада боковых и заднего лепестков и фон неба от собственного радиоизлучения атмосферы. Поглощение и радиоизлучение атмосферы зависит от длины волны, вклада кислорода, влагосодержания атмосферы, водозапаса облаков и температурного профиля атмосферы. При этом оптическая толща атмосферы входит в антенную температуру источника экспоненциально и только при малых значениях линейно, а это имеет место на волнах СМ диапазона, при невысоком влагосодержании атмосферы и водозапасе облаков. Для того чтобы учитывать упомянутые эффекты в процессе сопровождения наряду с мониторингом самой атмосферы на коротковолновых полноповоротных радиотелескопах применяют метод переключения на опорный объект с целью фактически непрерывной калибровки инструмента.

Для большинства задач мониторинга на РАТАНе важнее повышение эффективности наблюдений в режиме прохождения, поскольку это дает максимальную стабильность и повторяемость наблюдений при условии использования списка опорных объектов. Для повышения стабильности наряду уже с внедренным автогоризонтированием на облучателях тип 1 и тип 2 необходимо наряду с повышением точности и быстродействия АСУ разработать и внедрить эффективную АСУ позиционирования облучателя.

Наряду с повышением эффективности работы радиотелескопа в коротковолновом диапазоне волн в процессе модернизации следует развивать и внедрять способы быстрой радиоголографической антенной диагностики, расширять поле зрения инструмента, развивать многолучевые (матричные) методы наблюдений, особенно на АС “Ю+П”, где с использованием разработанного ранее третичного зеркала и его возможных модификаций, включая предложенный линзовый вариант с расположением приемников

внутри облучателя, можно освоить режим наблюдений с числом пикселей 9×9 в диапазоне 15- 43 ГГц и тем существенно повысить возможности исследования Солнца и других протяженных объектов. В частности, большой практический интерес представляет для РАТАНа освоение всего верхнего диапазона частот 18(15)-40(43) ГГц с поляризацией с использованием нового эффективного компактного 4-х гребневого рупорного облучателя.

Таким образом, при верной идеологии (концепции) модернизации ее результаты позволят добиться существенного повышения возможностей инструмента без всякого экстремизма. При этом главное требование к модернизации – безостановочная работа радиотелескопа или минимизация потерь на выполнение модернизации одного сектора.

Напротив, имитация процесса модернизации, которую мы наблюдаем в последнее время на РАТАНе, и тем более противоположные этому предложения и попытки модернизации всего чуть ли не “на новых физических принципах” неизбежно приведут к весьма плачевным последствиям.

В.Хайкин, руководитель ГАМР СПбФ САО РАН