

Обоснование необходимости и способов модернизации кинематических узлов, приводов и схемы управления щитами Кругового и Плоского отражателей радиотелескопа РАТАН-600

Модернизация кинематических узлов, механизмов и электро-приводов щитов РАТАН-600 необходима для повышения точности позиционирования, уменьшения люфтов, повышения быстродействия, гибкости и надежности работы инструмента, реализации перспективных режимов работы, включая режим сопровождения на антенной системе “Юг+Плоский”. Модернизация обеспечит многократное повышение ресурса, энергоэффективности, снижение эксплуатационных затрат и потерь наблюдательного времени, вызванных ремонтно-профилактическими работами.

Не вызывает сомнений необходимость замены существующего односкоростного асинхронного привода и обслуживаемых планетарного и конического редукторов, требующих не только периодической смены смазки но и слива конденсата, на современные серво-привода и герметичные гибридные редукторы. Инженеры ГАМР СПбФ САО РАН провели анализ продукции возможных изготовителей и поставщиков серво-приводов, среди которых Сервотехника-Нева, Фесто, Омрон, Сименс, SEWEURODRIVE, Бош Рексрот и др. Наилучшее соотношение цена-качество и наибольшая эффективность использования на РАТАН-600 достигается у серво-приводов Бош Рексрот (БР, Санкт-Петербург). Коммерческое предложение БР на 30-40% ниже по цене в сравнении с ФЕСТО и др. производителями приводов в основном за счет возможности использования двухуровневой схемы управления Круговым (КО) и Плоским отражателями (ПО) вместо традиционной трехуровневой по встроенному синхронному интерфейсу и протоколу Sercas III с контроллером (контроллерами) управления движением на 128 осей, установленными на верхнем уровне. Предложенная инженерами ГАМР СПбФ САО РАН кольцевая топология подключения серво-приводов с

медиаконверторами для перехода на оптоволокно гарантирует высокие надежность и ресурс новой схемы управления АСУ.

Несмотря на огромный прогресс в области точной механики и приводной техники за прошедшие 50 лет с момента проектирования радиотелескопа РАТАН-600, проводившиеся до настоящего времени усовершенствование АСУ касались в основном верхнего уровня и узлов управления среднего уровня – все кинематические элементы, аналоговые датчики положения и линии связи сохранились в первозданном виде. Вопрос модернизации периферийного оборудования, кинематики, приводов щитов и схемы управления АСУ целесообразно начинать с ПО как наиболее простой с точки зрения управления составной части инструмента, находящейся в наиболее изношенном состоянии.

Кроме повышения точностных и кинематических характеристик модернизация решает и ряд серьезных эксплуатационных проблем, являющихся неразрешимыми в существующей кинематической схеме и, в первую очередь, решает проблему быстрого износа бронзовых гаек трапецеидальных стальных винтов, ухудшения точности позиционирования при их износе и устраняет опасность неконтролируемого аварийного движения щита при срыве резьбы бронзовой гайки. Аварийный характер проблемы для ПО следует отметить особо. При срыве гайки щит весом 3.5 тонны за секунду опрокидывается назад под воздействием контр-груза, при этом он часто ломает аварийные концевые выключатели, датчики и даже ограждение галлерии ПО. Срыв гайки может произойти из-за внезапного сильного порыва ветра в неподвижном состоянии ПО. В последние годы выходит из строя и, как правило, аварийно срывается от 5 до 15 гаек щитов ПО в год! Та же проблема существует на КО, но там щит под действием иначе устроенного противовеса опрокидывается по крайней мере вперед, не ударяя своим концом по верхней галерее. Поэтому решать проблему срыва гаек винтов ПО и КО нужно и с точки зрения техники безопасности работы на инструменте.

Другой особо острой проблемой ПО и КО является износ карданных механизмов. Кардан – это шарнир, который компенсирует угловую несоосность валов (ведущего и ведомого). Карданы на ПО все чаще выходят из строя с разрушением подшипников, вилок, крестовин и других его узлов. Наконец, особой проблемой в первую очередь ПО является значительный изгиб самих ходовых винтов, до 70% которых при вращении сегодня описывает окружность радиусом до 10 см - 15 см, что увеличивает люфт и нагрузку на гайку и кардан. Стоит напомнить и об усталости металла, приводящей к его разрушению под действием знакопеременной или существенно переменной нагрузки ниже предела прочности обычно в несколько сот тысяч раз перемен N_p . За 45 лет практически непрерывной работы ПО число N_p может скоро быть достигнуто и тогда аварийный выход из строя не только гаек, но изогнутых винтов возрастет многократно. Скорее всего, изгиб винтов, т.е. уменьшение их упругости означает рост пластичности металла и накопление в нем усталости. Изгиб винтов может быть вызван не только сильно переменной нагрузкой на винт щитов ПО, но и с их простоем из-за значительной длины консоли винта максимальной в вертикальном положении щита ПО. Такой вывод можно сделать потому что изгиб замечен и у неработающих или редко работающих щитов на краю ПО. Однако прийти к единому мнению по проблеме изгиба существующих винтов ПО пока не удалось, мнения экспертов разделились. Ведущий конструктор Бош Рексрот Дмитрий Светлов считает, что проблема вызвана потерей устойчивости винта при его сжатии, возникающим в ситуации, когда под воздействием ветра щит стремиться опрокинуться назад в том же направлении, в котором на него воздействует противовес. Материаловед Роман Байрамуков считает, что проблема вызвана не сжатием, а растяжением винта, в том числе по причине потери упругости и возрастания его пластичности как следствие усталости металла. Наконец, конструктор Э.Коркин, принимавший активное участие в проектировании радиотелескопа в 60-е-70-е годы, склоняется к тому, что проблема связана с длиной консоли

винта, которая в вертикальном положении щита ПО, в котором он проводит много времени составляет более 2.5 м. Как следствие, со временем в том числе и из-за усталости металла под воздействием его собственного веса происходит изгиб винта. Для прояснения ситуации с изгибом винтов ПО и главное решения этой проблемы в процессе модернизации необходимо провести работу по контролю параметров изгиба статистически достоверного количества винтов, как в центре, так и на краю ПО, где щиты работают редко, но имеют те же ветровые нагрузки, что и в центре ПО. Вопрос необходимо прояснить до выбора оптимального типоразмера винта для всего ПО.

Вместе с изогнутыми винтами и бронзовыми гайками карданы составляют один проблемно-аварийный шарнирно-винтовой узел, требующий быстрой замены на более подходящую по своим возможностям винтовую передачу и более надежный механизм соединения винта с валом редуктора в условиях их угловой несоосности.

Следует отметить, что необходимость и неизбежность модернизации кинематических узлов щитов в последнее время находит все большее понимание на РАТАН-600 – когда выполнялась проработка способов решения этой проблемы в 2009 г - это вызывало только критику и раздражение административного руководства РАТАН-600 и лишь активная поддержка директора САО РАН Ю.Ю.Балеги и зам.директора САО РАН по БТА В.В.Власюка позволила выполнить поисковую работу по модернизации кинематики и приводов нескольких щитов КО в рамках программы ЦКП в 2009-2010 гг.

Проработка вопросов многократного повышения быстродействия, точности и надежности кинематических узлов радиотелескопа привела к пониманию необходимости замены трапецеидального винта с бронзовой гайкой на ШВП с устойчивым антикоррозийным покрытием, кардана на специально разработанный ШРУС, выполненный на базе серийного ШРУСа грузового автомобиля.

Приведем мнение инженера-механик Бош-Рексрот Бормотова В.И. об использовании ШВП в открытых условиях в связи с критикой такого решения на РАТАН-600.

“По поводу смазки ШВП – соблюдать технический регламент смазки действительно необходимо, но он такой же, как и других устройств, построенных на принципе использования тел качения – радиальные подшипники, шариковые опоры, шарниры и пр. Рекомендуются использовать смазки, согласованные с заводом-изготовителем. Для дополнительной защиты от коррозии на РАТАН-600 нужно использовать ШВП с устойчивым хромированным покрытием. Помимо собственной системы уплотнения ШВП рекомендуется использовать внешние кожуха гофрированного типа, которые используются на РАТАН-600 и периодически проверять их целостность. При правильном выборе типоразмера ШВП и соблюдении регламента обслуживания высокая надежность и долговечность их работы, значительно выше, чем у трапецидальных винтов. Что касается опыта использования ШВП в открытых условиях, где возможно появление конденсата у Бош Рексрот имеется положительный опыт в России. Свыше тысячи ШВП Бош Рексрот работают более 6 лет в стрелочных приводах РЖД, где они заменили трапецидальные винты в процессе модернизации стрелочных переводов для прохождения высокоскоростных поездов Сапсан, Ласточка, Аллегро, циркулирующих в различных в том числе достаточно жестких климатических условиях.”

ШВП - низколюфтовое соединение, но поскольку избежать зазора между соприкасающимися поверхностями полностью невозможно в ШВП применяется собственная система выборки люфта (преднатяг гайки) путем селективного подбора диаметра шариков. В этом случае сложный механизм выборки люфта щита с тросами, блоками и контр-грузами становится не нужен, а именно он является еще одной проблемой эксплуатации щитов и требует немалых усилий и средств для обслуживания и ремонта. Если отказаться от противовеса, можно значительно уменьшить нагрузку на винт

в одном направлении, а значит уменьшить темп накопления усталости и избежать изгиба винта при том же диаметре винта. Вторая роль противовеса – исключить возможность раскачки щита при сильных ветровых нагрузках. У обычного соединения винт-гайка (СВГ) в принципе отсутствует возвратное движение и потому его прокрутить со стороны щита невозможно как с противовесом так и без, но из-за наличия люфтов такая раскачка возможна и противовес ее предотвращает. КПД существующего СВГ по результатам измерений КБ ЛФ САО РАН не выше 18-25%. КПД ШВП более 90% т.е. ожидается рост КПД в 4-5 раз. В такой схеме сильный ветер способен прокрутить винт и “гонять” щит потому в приводе с ШВП предусмотрен электротормоз, который будет самопроизвольно срабатывать при перегрузках и отключении питания. Раскачка щита от ветра из-за люфта в новой схеме неактуальна, поскольку все его основные источники устранены.

Разработанные для радиотелескопа ШВП и ШРУСы прошли длительные испытания на щитах N720-721 и установлены на нескольких щитах Северного и Южного секторов, где они успешно эксплуатируются в круглосуточном режиме работы с 2010 г.

Специально изучалась возможность использования полимерных материалов типа Zedex для изготовления гаек трапецеидальных винтов вместо ШВП для удешевления. Оказалось, что стоимость гайки ШВП составляет не более 5-7% от стоимости пары винт-гайка, а стоимость высокоточных винтов в обоих случаях соизмеримая. Поэтому достичь значительной экономии таким способом невозможно, но при такой замене надежность и ресурс многократно падают. Приведем мнение материаловеда Р.Р.Байрамукова, прошедшего школу МИСИ и ВИАМа: “Эти материалы (zedex и другие полимерные композиты) можно использовать в ненагруженных и неответственных деталях в целях их удешевления или предотвращения коррозии. Когда говорят о их высокой прочности (выше бронзы) речь идет об удельной и вибрационной прочности, прочность на

сжатие и разрыв zedex на уровне мягких металлов таких как свинец, магний - до бронз им очень далеко. Если хотят сэкономить и нужно что бы узел в интенсивном режиме проработал до 5-7 лет можно ставить дешевые гайки из zedex на хорошие винты, если нужен ресурс 20-30 лет то ставить нужно только ШВП с надежной химической или гальванической обработкой винта (чернение, хромирование). Для сохранения ресурса ШВП в режиме интенсивной эксплуатации следует просто соблюдать несложный регламент их обслуживания”.