

Модернизации кинематики, приводов и схемы управления щитами Плоского отражателя радиотелескопа РАТАН-600

1. Введение

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 длительного сопровождения на антенной системе “Юг+Плоский”. Модернизация обеспечит многократное повышение ресурса, снижение эксплуатационных затрат и потерь наблюдательного времени, вызванных ремонтно-профилактическими работами.

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 – все кинематические элементы, аналоговые датчики положения и линии связи сохранились в первозданном виде. Модернизацию кинематики и приводов щитов целесообразно начинать с Плоского отражателя (ПО) как наиболее простой с точки зрения управления составной части инструмента, находящейся в наиболее изношенном состоянии.

Кроме повышения точностных и кинематических характеристик модернизация решает 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. Кроме износа гаек существует проблема изгиба винтов в процессе длительной эксплуатации.

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.

2.Способ и схема модернизации кинематики и управления щитами ПО

В целях модернизации кинематики и схемы управления ранее было предложено заменить наиболее важные кинематические узлы и механизмы щита: соединение винт-гайка скольжения (СВГС) на шарико-винтовую пару (ШВП), карданные механизмы на высокоточные шарниры равно-угловых скоростей (ШРУСы), устаревшие и требующие обслуживания планетарные и конические редукторы на высокоточные герметичные гибридные редукторы,



Рис.1. Плоский отражатель (слева) и винт ПО (справа)

асинхронные неуправляемые по скорости привода с блоками аналоговых двухотсчетных датчиков-селинов на синхронные сервопривода на постоянных магнитах с встроенными абсолютными многооборотистыми энкодерами и электро-тормозами. Ранее в рамках программы ЦКП-1 было выполнено детальное обоснование предложенной схемы модернизации

кинематических узлов и механизмов щита Кругового отражателя (КО) РАТАН-600 и сделаны необходимые расчеты требуемых нагрузок, включая ветровые применительно к щиту КО. Концепция проекта модернизации, а также результаты моделирования и реализации новых кинематических узлов и механизмов щита приведены в ряде отчетов и публикаций.

На рис. 1 приведен вид ПО РАТАН-600 и винта с тыльной стороны щита ПО. В таблице 1 приведены основные параметры щитов КО и ПО. Как видно из таблицы 1 специфика щита ПО состоит в больших размерах и массе щита и, следовательно, возрастающих ветровых нагрузках и моменте инерции, однако нынешняя скорость наклона щита ПО на 40% меньше, а максимальный угол наклона на 30% больше чем у щита КО.

Таблица 1

Щит	Масса фермы щита с отражающей поверхностью, кг	Масса щита с элементами конструкции кг	Высота щита без закрылок, м	Ширина щита, М	Длина угло-местного винта, мм	Скорость наклона щита °/сек	Угол наклона щита, град
КО	1950	8230	7.4	1.94	2125	3.54	53
ПО	3450	9110	8.5	3.1	3030	2.5	70

На рис.2 приведена ранее предложенная и испытанная схема управления щитами КО на базе синхронного серводвигателя ФЕСТО. Она может быть применена и для управления щитами ПО.

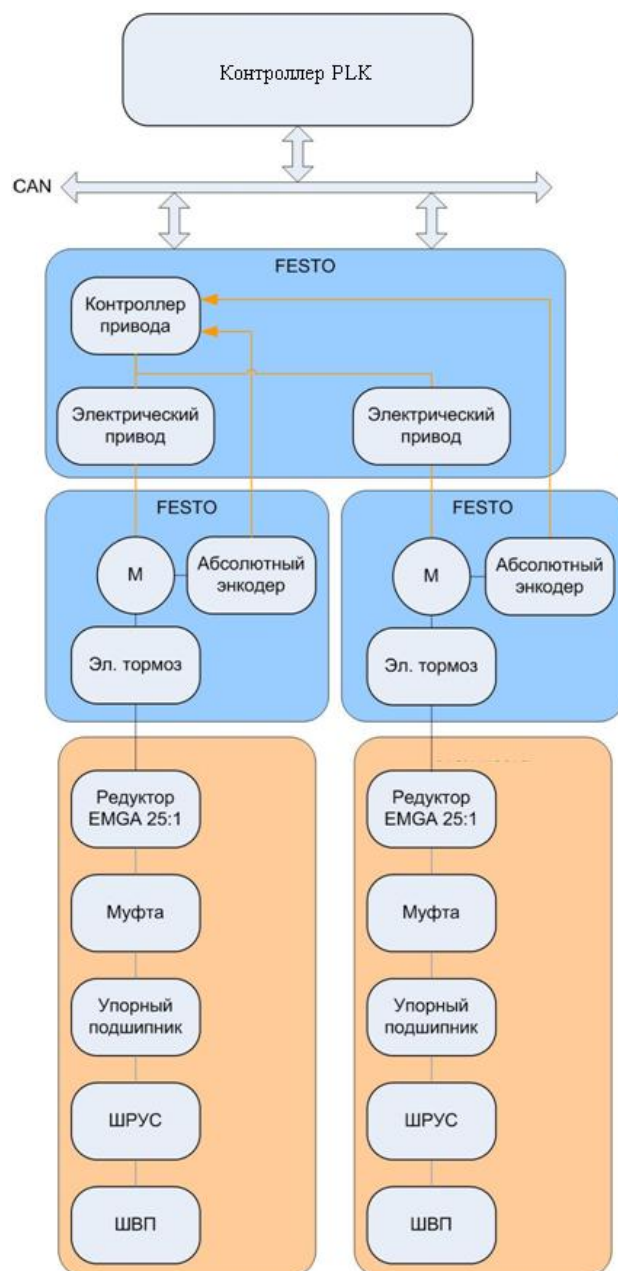


Рис.2. Предложенная схема управления щитами ПО на базе синхронного серводвигателя ФЕСТО

Ниже приведены результаты расчета нагрузочных характеристик привода щита ПО с учетом типоразмера винта, размеров и веса щита, требуемой скорости наклона щита, ветровых нагрузок.

Исходные данные

$F =$	27.30	кН	<i>Усилие</i>
$V =$	20.00	мм/с	<i>Скорость</i>
$p =$	10.00	Мм	<i>шаг винта</i>
КПД винта =	90.00	%	<i>КПД винта</i>
КПД редуктора =	95.00	%	<i>КПД редуктора</i>
$i =$	25.00	-	<i>передаточное отношение редуктора</i>
$M_s =$	0.00	Нм	<i>момент статический редуктора</i>
$k =$	1.00	-	<i>коэффициент запаса</i>

Результат расчета

$M_2 =$	48.28	Нм	<i>момент на редукторе</i>
$M_1 =$	2.15	Нм	<i>момент на двигателе</i>
$n_1 =$	3000.00	об/мин	<i>скорость на двигателе</i>
$P_1 =$	674.02	Вт	<i>Номинальная мощность двигателя</i>

В ныне существующей схеме для щитов ПО и КО используется асинхронный привод с короткозамкнутым ротором номинальной мощности 550 Вт, однако на щите ПО применен планетарный редуктор с большим передаточным числом. Это обеспечивает больший момент и меньшую (на 35%-40%) скорость наклона щита, что уменьшает интенсивность наблюдений дискретных источников на АС “Юг+Плоский” при неподвижном положении фокуса АС.

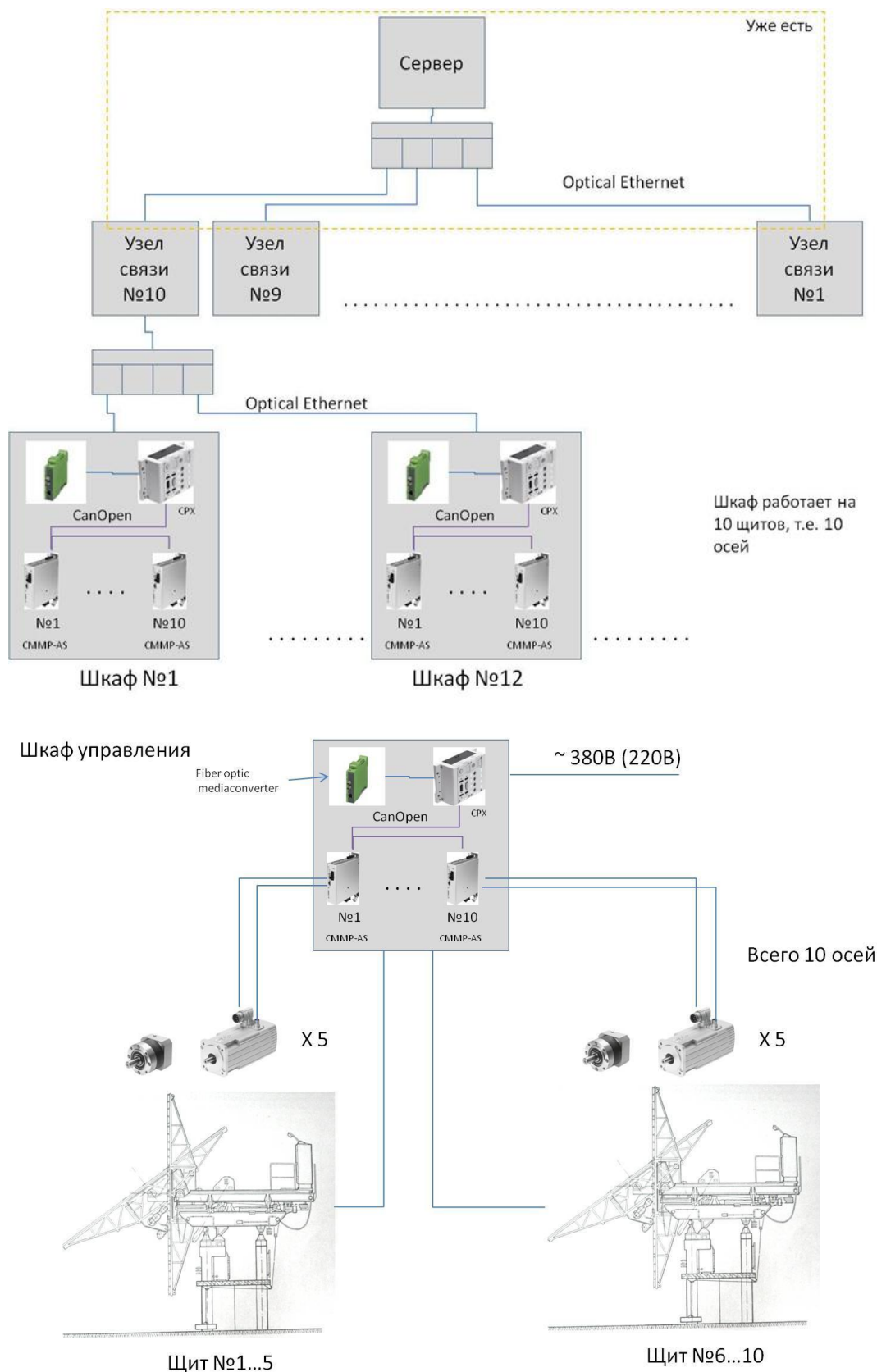


Рис.3. 2-х уровневая схема управления ПО с оптическим Ethernetкоммутатором в узле связи АСУ



Рис.4. Пример устройства ШУ на 4 щита ПО радиотелескопа с контролером 2-го уровня (PLK) (вверху), пример устройства ШУ для 6-10 щитов ПО(внизу).

Специалисты ФЕСТО приняли активное участие в испытаниях привода ФЕСТО на щите КО РАТАН-600 в 2010 г и неоднократно приезжали на РАТАН-600 для контроля состояния и качества работы установленного оборудования в последующие годы.

ФЕСТО совместно с ГАМР СПбФ CAO РАН подготовлена 2-х уровневая схема управления ПО с Ethernet коммутатором в узле управления (рис.3). В предложенной схеме используется сетевой детерминированный (синхронный) протокол CAN-open. В серводвигателе и сервоконтроллере ФЕСТО имеется и более скоростной протокол MODBUS-TCP, позволяющий построить одноуровневую схему, но принцип детерминированности (синхронности) в нем не гарантируется, что может ограничивать возможности АСУ в режиме непрерывного сопровождения объекта.

Примеры устройства ШУ на 4 щита ПО с ПЛК контроллером 2-го уровня и на 10 щитов ПО (в нем установлены 6 контроллеров без ПЛК), подготовленные ФЕСТО приведены на рис. 4.

Инженеры ГАМР также провели анализ продукции других возможных изготовителей и поставщиков серво-приводов среди, которых Омрон, Сименс, SEWEURODRIVE, Бош Рексрот и др. Наилучшее соотношение цена-качество и наибольшая эффективность использования достигается у серво-приводов Бош Рексрот (Санкт-Петербург), коммерческое предложение которой оказалось на 30-40% ниже по цене чем у ФЕСТО в основном за счет возможности использования одноуровневой схемы управления по встроенному синхронному интерфейсу и протоколу Sercas III. Важным достоинством Бош Рексрот является собственная ШВП 5 класса точности, которая предлагается для проекта модернизации кинематики щитов РАТАН-600 по сниженной цене.

На рис.5. приведена предлагаемая схема управления щитами ПО с сервоприводами Бош Рексрот по интерфейсу Sercos, разработанная специалистами ГАМР.

Таким образом, варианты модернизации приводов щитов ПО с использованием оборудования Бош-Рексрот и ФЕСТО являются наиболее предпочтительными, однако по соотношению цена-качества и простоте реализации выигрывает вариант Бош-Рексрот.

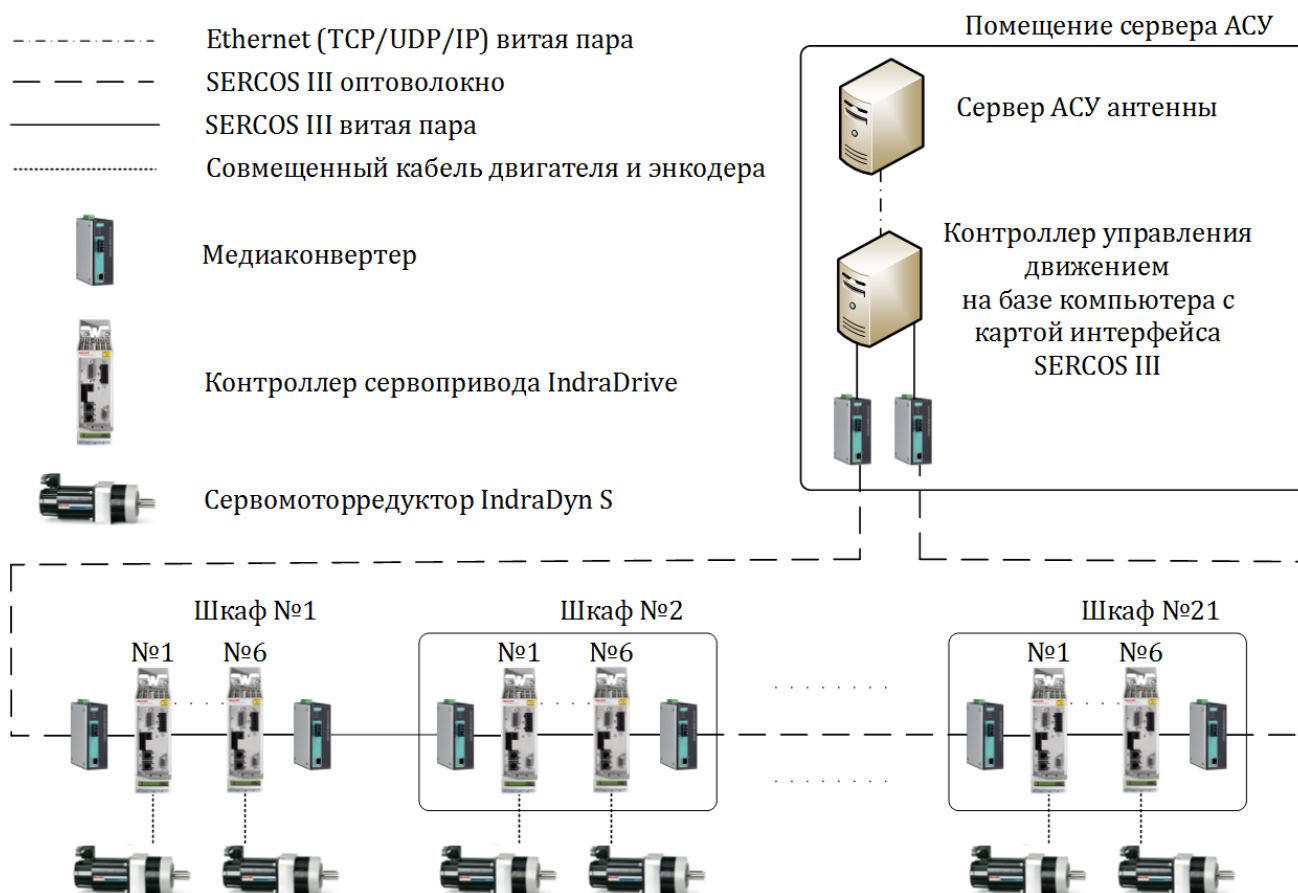


Рис.5. Схема управления щитами ПО с сервоприводами Бош Рексрот по интерфейсу Sercos с контроллером управления движением на 128 осей

На щитах КО и ПО винт-трапеция имеет диаметр 70 мм и типоразмер 70-10. Такого типоразмера у ШВП нет, ближайшие типоразмеры 63-10 и 80-10 и потому на модернизированном щите КО был выбран типоразмер 63-10. С учетом большей длины винта ПО (3 м) желательно применить типоразмер 80-10, однако в этом случае гайка ШВП не войдет в посадочный цилиндр литого корпуса гайки из чугуна и требуется менять и корпус гайки, что нежелательно, поскольку повлечет существенные дополнительные затраты.

Поэтому были сделаны необходимые расчеты упругости винта ШВП под нагрузкой с учетом точек крепления, которые показали, что в данной

схеме и при данной длине винта можно применить типоразмер 63-10 и выше. Однако для типоразмера 61-10 из-за большой длины винта и консоли все желательно снизить нагрузку на винт. Основную переменную нагрузку на винт в разных направлениях через крестовину щита создает сам наклоняемый щит с площадью поверхности 25 кв.м в зависимости от силы ветра. Масса щита по нашим оценкам хорошо сбалансирована без противовеса за счет выбора длины плеч в кинематическом треугольнике. Инерциальная нагрузка, связанная с массой – это нагрузка на привод, а не на винт. Дополнительную постоянную нагрузку на винт создает противовес системы выборки люфта весом около 800 кг, прижимающий стенки резьбы гайки к канавкам винта в продольном направлении также через крестовину щита.

Однако ШВП в отличие от СВГС - 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. Другими источниками люфта могут быть кардан, который в нашей схеме заменяется на ШРУС и редукторы, которые заменяются на низколюфтовые. 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 СВГС в принципе отсутствует возвратное движение и потому его прокутить со стороны щита невозможно как с противовесом так и без, но из-за наличия люфтов такая раскачка возможна и противовес ее предотвращает. КПД существующего СВГС по результатам

измерений КБ ЛФ САО РАН не выше 18-20%. 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 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.

В наших испытаниях наклона щита N721 КО с ШВП и ШРУСом в 2010 г мы пробовали работать с контр-грузом и без него и не заметили какой-либо разницы в работе щита как в отношении привода (доступная скорость и равномерность вращения) так и по точности наведения щита. Это дает основания полагать, что без контр-груза при использовании ШВП с преднатягом гайки, ШРУСов, а также безударных приводов с электротормозами можно обойтись – он просто оказывается в новой кинематической схеме лишним. В этом случае выбор типоразмера ШВП 63-10 будет полностью обоснованным и проблем с изгибом винтов быть не должно, но это утверждение нуждается в проверке в интенсивном режиме работы контрольного щита ПО во всем диапазоне углов.

Замена карданного механизма на шарнир равноугловых скоростей (ШРУС) вызвана подобием возникающих проблем в существующей кинематической схеме щита с автомобилем, где ранее в переднеприводной схеме также использовался карданный шарнир для передачи крутящего момента. Но уже при углах, больших 10° , в карданной передаче резко увеличиваются потери момента, к тому же вращение передаётся неравномерно, растёт износ шарнира, быстро изнашиваются шины, а шестерни и валы трансмиссионной передачи начинают работать с большими перегрузками. Поэтому для переднего привода автомобиля потребовался особый шарнир — шарнир равных угловых скоростей, лишённый указанных недостатков, передающий вращение равномерно вне зависимости от угла между соединяемыми валами. Между валом редуктора и винтом на щите не возникает больших углов, но в остальном требования схожие, в том числе

равномерная безлюфтовая передача вращения и низкий износ при значительных нагрузках на разрыв.

ШРУС с крепежной оснасткой на ось щита был разработан и испытан ранее в поисковом проекте по программе ЦКП-1. Он устроен на базе серийного ШРУСа грузового автомобиля весом 5 тонн и обладает высокой равномерностью передачи момента вращения, прочностью на разрыв и сжатие. Кроме шарнирной основы ШРУС для осей РАТАН-600 состоит из десятка направляющих и стыковочных деталей, обеспечивающих безлюфтовое и высоконадежное соединение винта с валом редуктора. ШРУС вместе с ШВП прошел длительные испытания на щите КО N721 в рамках программы ЦКП-1 в 2010 г под контролем СЭК РАТАН-600 (отв. С.Яковенко).

Следует отметить, что примененные на КО РАТАН-600 ШВП не имели дополнительных защитных покрытий кроме слоя смазки, те, что предложены для модернизации ПО имеют надежное антикоррозийное покрытие.

На Рис.6. приведено 3D сборка привода Бош-рексрот с ШРУСом и ШВП.

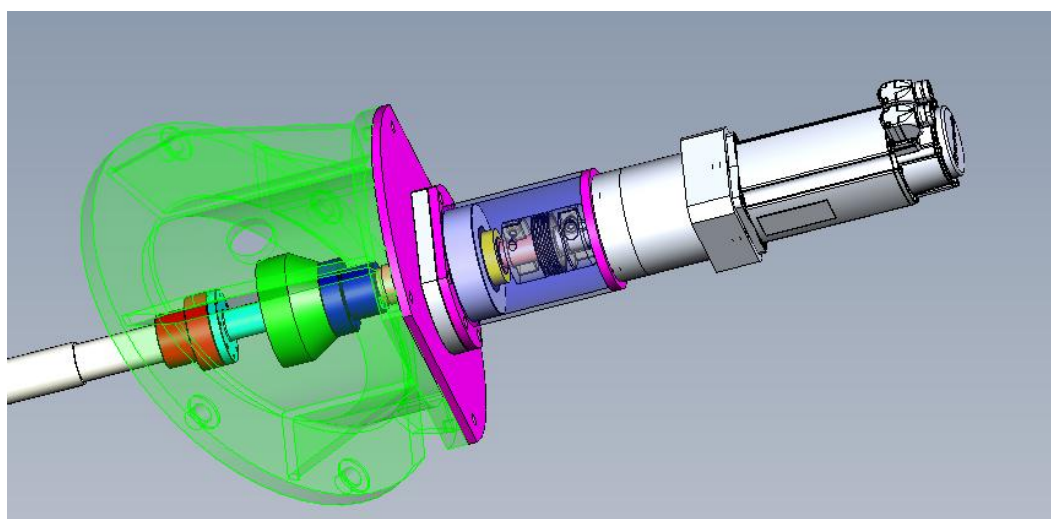


Рис.6. 3D сборка привода Бош-рексрот с ШРУСом и ШВП.

3.Грозозащита АСУ ПО

Опыт работы АСУ РАТАН-600 требует уделить особое внимания проблеме грозозащиты цепей питания и управления. С этой целью предложено ограничить расстояние между сервоприводами и ШУ (25 м), а связь между ШУ и узлом связи реализовать с помощью оптического Ethernet устроенного по кольцевой топологии. Наряду с эффективными молниеотводами над областью расположения ШУ и устройством качественного заземления ШУ проблема решается применением внутренней молнии защиты (ВМЗ). ВМЗ представляет собой комплекс превентивных мероприятий по обеспечению безопасности от вторичных действий молнии. Этот эффект проявляется обычно в виде индукции импульсного перенапряжения и занесённого высокого потенциала. С этой целью применяются устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИПы): «lightning surger rotection» и «surge protection device», которые используются для защиты питающих и распределительных устройств верхнего уровня и в узлах управления (УЗИПы1-го и 2-го класса), защиты ШУ и оконечных устройств в ШУ (УЗИПы3-го класса). В результате всех превентивных мер ожидается высокая степень грозозащиты всех уровней АСУ ПО.

4.Этапы выполнения проекта

Модернизацию ПО целесообразно проводить в 4-е этапа, первый этап – модернизации крайнего щита ПО, отладка новой схему АСУ с одним щитом ПО, интенсивные испытания установки щитов в заданном диапазоне в автоматическом режиме в течение 3-4 месяцев. Работа может быть выполнена за 9 месяцев с учетом сроков поставки всех узлов. Второй этап – изготовление и поставка всех устройств (один год) и постепенная замена в течение полугода винтов и карданов щитов ПО с сохранением старых приводов с сельсинами и АСУ в целом без остановки наблюдений с

периодической быстрой автоколлимационной юстировкой щитов с новыми винтами. Третий этап – монтаж 12 шкафов управления ШУ на ПО, прокладка необходимых электрических и информационных кабелей от ШУ к каждому щиту ПО, прокладка оптоволокон от ШУ к узлу управления ПО (домик N10 или N11) по кольцевой топологии, что займет 3-4 месяца, четвертый этап - быстрая замена приводов с переходом на новую отлаженную идеологию АСУ с остановкой наблюдений. Как показали поисковые работы замена (демонтаж) старого привода на новый выполняется бригадой слесарей (2-3 человека) за два-три часа и темп замены приводов двумя бригадами может быть не менее 4 щитов в день. Поэтому для замены приводов двух половин ПО потребуется не более 30-35 рабочих дней, после чего щит становятся элементами новой отлаженной ранее АСУ. Затем за две недели выполняется геодезическая установка щитов ПО в створ и привязка в вертикальном положении шкал всех абсолютных многооборотистых энкодеров, за чем следует быстрая автоколлимационная юстировка АС “Юг+Плоский”. В результате через 2-3 месяца после остановки наблюдений можно будет их продолжить на модернизированном ПО, а в период наладки ПО проводить плановые наблюдения на чистом Юге.

Обсуждается также предложение А.А.Стороженко об организации интеллектуального шлюза-интерфейса “Штатная АСУ - Новая АСУ” для постепенного ввода в строй модернизируемых щитов.

Таким образом, полная модернизация ПО (этапы 2-4) может быть выполнена за полтора года из них потери времени наблюдений на АС “Юг+Плоский” составят не более двух-трех месяцев. В случае организации интеллектуального шлюза-интерфейса потерь наблюдательного времени на АС “Юг+Плоский” в процессе модернизации можно избежать, но это требует хорошего взаимодействия всех звеньев подразделений радиотелескопа, участвующих в эксплуатации и модернизации АСУ ПО.

5.Выводы:

Реализация проекта модернизации щитов ПО:

- 1.Остановит прогрессирующий износ существующих кинематических узлов,неизбежный рост расходов на эксплуатацию инструмента, устраним аварийные узлы.
- 2.Многократно повысит надежность и срок службы кинематических узлов, благодаря применению режима безударного регулирования скорости, плавным разгонным и тормозным характеристикам современных сервоприводов.
- 3.Многократно повысит надежность электроники за счет применения компонентов нового поколения и превентивных мер грозозащиты.
- 4.Многократно упростит схему взаимодействия с АСУ верхнего уровня.
- 5.Существенно повысит точность позиционирования щита РАТАН-600. Повышение точности позиционирования модернизированных щитов происходит за счет уменьшения собственных погрешностей кинематических механизмов, уменьшения гистерезиса в траекториях движения щита, вызванного зазорами и люфтами кинематических соединений, кривизной винта, а также за счет перехода от аналоговой к цифровой технике, измерительным устройствам и каналам связи.
- 6.Существенно (на порядок и более) повысит скорость установки ПО и интенсивность (количество) наблюдений дискретных источников на АС “Юг+Плоский”. Практически время наклона ПО для максимальных перепадов высот наблюдений уменьшится с 20-25 минут до 1.5 минут.
- 7.За счет повышения КПД кинематических механизмов и скоростей перемещения щита на порядок и более снизятся энергозатраты на выполнение фиксированного объема наблюдений и потери наблюдательного времени на проведение регламентных работ.