

О проекте модернизации кинематических узлов, приводов и схемы управления щитами плоского отражателя радиотелескопа РАТАН-600

**© В. Б. Хайкин¹, А. А. Стороженко¹, С. В. Шлензин¹,
М. К. Лебедев¹, М. Ю. Васильков², Д. О. Светлов², В. М. Богод¹**

¹СПбФ САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ООО «Бош Рексрот», г. Химки, Россия

В статье представлены материалы о подготовке проекта модернизации кинематических узлов, механизмов, приводов и схемы управления щитами плоского отражателя (ПО) антенной системы (АС) «Юг+Плоский» радиотелескопа РАТАН-600.

Проект модернизации для щитов кругового отражателя (КО) был предложен ранее. Модернизация щитов КО и ПО позволит повысить точность позиционирования отражающих элементов, быстродействие, гибкость и надежность работы инструмента, реализовать перспективные режимы работы АС, включая режим длительного сопровождения и сканирования источников на АС «Юг+Плоский». Модернизация остановит прогрессирующий износ существующих кинематических узлов и неизбежный рост расходов на эксплуатацию инструмента. Существенно (на порядок) после модернизации можно повысить скорость установки ПО и интенсивность (количество) наблюдений дискретных источников на АС «Юг+Плоский». Приводится концепция и особенности модернизации ПО, результаты расчетов и моделирования, дается оценка необходимых затрат.

Ключевые слова: радиотелескоп, модернизация, сервоприводы, шарико-винтовая пара, ШВП.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.47.64-71>

Введение

Длительное сопровождение и сканирование источников на АС «Юг+Плоский» радиотелескопа РАТАН-600 с полной апертурой принципиально возможно в течение 4 ч, но наряду с перемещением вторичного зеркала по дуговому рельсовому пути требует перестройки профиля главного зеркала (ГЗ) и угла наклона ПО в реальном масштабе времени [1, 2]. Практически это пока невозможно реализовать из-за недостаточного быстродействия и гибкости автоматизированной системы управления (АСУ) АС, состояния кинематических узлов отражающих элементов (ОЭ) радиотелескопа, которые нуждаются в модернизации. Модернизация кинематических узлов, механизмов и электроприводов ОЭ радиотелескопа РАТАН-600 повысит точность их позиционирования, быстродействие, гибкость и надежность работы инструмента, позволит реализовать перспективные режимы работы. В последние годы из-за недостаточного быстродействия, гибкости АСУ и надежности кинематических

узлов развивались способы сопровождения и сканирования Солнца с неподвижным ГЗ и ПО в режиме работы с сокращенной апертурой [3]. С целью освоения новых режимов работы радиотелескопа построена модель АС и развиты методы расчета ее характеристик [3, 4].

Вид ПО радиотелескопа РАТАН-600 представлен на рис. 1.



Рис. 1. Перископический (плоский) отражатель радиотелескопа РАТАН-600

Поисковая работа по модернизации кинематики и приводов двух щитов северо-восточной части КО была выполнена в 2009–2011 гг. в рамках Целевой комплексной программы. В целях модернизации было предложено заменить наиболее важные кинематические узлы и механизмы ОЭ: соединение винт-гайка скольжения (СВГ) — на шарико-винтовую пару (ШВП), карданные узлы — на высокоточные шарниры равных угловых скоростей (ШРУС), устаревшие и требующие обслуживания планетарные и конические редукторы — на высокоточные герметичные гибридные редукторы АРЕХ, асинхронные неуправляемые по скорости приводы с блоками аналоговых двухотсчетных датчиков-сельсинов — на синхронные сервоприводы на постоянных магнитах с встроенными абсолютными энкодерами [5]. Разработанные для радиотелескопа ШРУС и ШВП вместе с новыми сервоприводами прошли длительные ресурсные испытания на дух щитах КО в 2010 г. под контролем службы эксплуатации (СЭК) РАТАН-600. После выполнения ресурсных испытаний один щит Северного сектора был оборудован ШРУС и ШВП по трем координатам в июле 2011 г. и с тех пор участвует в программах интенсивных круглосуточных наблюдений Северного сектора без каких-либо замечаний со стороны СЭК.

Способ и особенности модернизации щитов ПО

Ранее выполнено обоснование предложенной схемы модернизации кинематических узлов и механизмов щита КО РАТАН-600 и сделаны необходимые расчеты требуемых нагрузок, включая ветровые [5].

В табл. 1 приведены основные параметры щитов КО и ПО. Как видно из табл. 1, специфика щита ПО заключается в больших размерах и массе щита и, следовательно, возрастающих ветровых нагрузках и моменте инерции. Существующая скорость наклона щита ПО на 40 % меньше, а максимальный угол наклона на 30 % больше, чем у щита КО. С учетом размеров и массы щита ПО сделан пересчет требуемых нагрузочных характеристик привода, ранее выполненный для щита КО, включая статические, динамические, инерционные и ветровые нагрузки при сохранении требований к скорости движения щита на порядок выше существующей. В ныне существующей схеме щитов ПО и КО используется асинхронный привод с короткозамкнутым ротором одинаковой мощности 550 Вт, однако на щите ПО применен планетарный редуктор с большим передаточным числом. В табл. 2 приведены результаты расчета нагрузочных характеристик привода щита ПО с учетом типоразмера винта, размеров и веса щита, требуемой скорости наклона щита, ветровых нагрузок.

Новый привод включает сервомотор IndraDyn S, редуктор GTE, компактный конвертер Indra Drive компании «Бош-Рексрот». С учетом рассчитанных нагрузок для щитов ПО в проекте модернизации ПО предложено применить ШВП Конвертер со следующими характеристиками: 5-й класс точности, длина 3030 мм, типоразмер 63×10, КПД 96 %, динамическая грузоподъемность 10 800 кгс, антикоррозийное покрытие — хром. На рис. 2 приведена 3D-модель сборки серводвигателя «Бош-Рексрот» с ШВП, ШРЭС и редуктором.

Таблица 1

Основные параметры щитов КО и ПО

Щит	Масса фермы щита с отражающей поверхностью, кг	Масса щита с элементами конструкции, кг	Высота щита без закрылков, м	Ширина щита, м	Длина угломестного 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

Расчет нагрузочных характеристик привода щита ПО

Исходные данные			
F	27.30	кН	усилие
V	20.00	мм/с	скорость
p	10.00	мм	шаг винта
КПД винта	92.00	%	КПД винта
КПД редуктора	95.00	%	КПД редуктора
i	25.00	–	передаточное отношение редуктора
M_s	0.00	Нм	статический момент редуктора
k	1.00	–	коэффициент запаса
Результат расчета			
M_2	48.28	Нм	момент на редукторе
M_1	2.15	Нм	момент на двигателе
n_1	3000.00	об/мин	скорость на двигателе
P_1	674.02	Вт	номинальная мощность двигателя

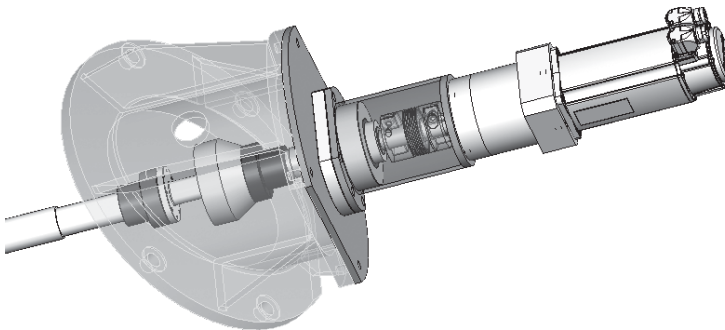


Рис. 2. 3D-модель угломестного привода «Бош-Рексрот» для щита ПО

Для повышения точности позиционирования и решения проблемы быстрого износа бронзовых гаек СВГ ранее было предложено перейти на ШВП [5]. ШВП в высокоточных системах позиционирования в последние десятилетия стремительно вытесняет СВГ за счет использования принципа качения вместо скольжения. Кроме систематического и часто аварийного срыва, обычно через 7–10 лет эксплуатации, бронзовая гайка начинает «золотить» винт за три месяца до окончательного выхода ее из строя, но и до этой стадии люфт и

связанная с ним ошибка позиционирования могут заметно возрасти по мере износа гайки. Существенные изменения в местах автоколлимационных нулей в процессе износа гаек были замечены во время выполнения автоколлимационных юстировок радиотелескопа, что иногда позволяет выявлять изношенные гайки еще до возникновения аварийной ситуации, вызванной срывом гайки. При отсутствии ударных нагрузок, что характерно для будущего режима работы щита, расчетный ресурс ШВП в новой кинематической схеме работы щита при соблюдении регламента смазки (аналогичного существующим винтам) и эксплуатации защитных кожухов не менее 35 лет. Переход к ШВП на порядки уменьшит амортизационные расходы и в разы трудозатраты на их обслуживание.

В отличие от СВГ 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. Другими источниками люфта могут быть кардан, который в нашей схеме заменяется на высокоточный ШРУС, и редукторы, которые заменяются на низколюфтовые. В этом случае сложный механизм выборки люфта щита с тросами, блоками и контргрузами становится не нужен, а именно он является еще одной проблемой эксплуатации щитов и требует немалых усилий и средств для обслуживания и ремонта. Отказ от противовеса может значительно уменьшить нагрузку на винт в одном направлении, а значит уменьшить темп накопления усталости и избежать изгиба винта при том же диаметре винта.

В рамках подготовки проекта разработана идеология и схема управления щитами ПО. Для синхронного привода ФЕСТО, использованного для модернизации экспериментального щита КО [5], была предложена 3-уровневая схема управления щитами КО с контроллерами движения для 10 осей и синхронным протоколом CAN-open. Для приводов «Бош-Рексрот» с их фирменным синхронным протоколом SERCOS III удастся построить 2-уровневую схему управления щитами ПО с контроллером управления движения на верхнем уровне с поддержкой 128 осей. На рис. 3 представлена предложенная структурная схема управления щитами ПО, построенная по кольцевой топологии (с аппаратным резервированием).

Стоимость проекта модернизации кинематики, приводов и схемы управления щитами ПО РАТАН-600 составляет 300–350 т. р. в расчете на один щит и она уточняется с учетом льготных условий поставки продукции компании «Бош-Рексрот» для модернизации радиотелескопа РАТАН-600. В настоящее время аналогичные приводы запущены в опытную эксплуатацию на каретках облучателей типа 2 и 3 радиотелескопа РАТАН-600, что позволило в несколько раз повысить точность их позиционирования, а скорость движения кареток облучателей — на порядок. В 2019 г. планируется подготовить один модернизированный щит ПО и провести его точностные и ресурсные испытания.

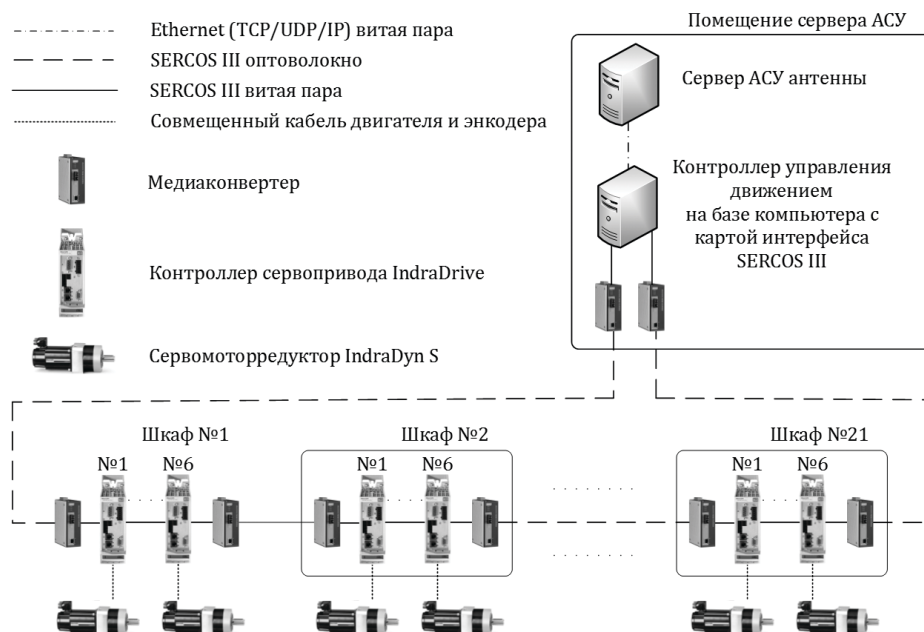


Рис. 3. Структурная схема управления 124 щитами ПО с сервоприводами «Бош-Рексрот»

Заключение

В заключение отметим, что даст реализация проекта модернизации щитов ПО:

1. Остановит прогрессирующий износ существующих кинематических узлов, неизбежный рост расходов на эксплуатацию инструмента, устранил аварийные узлы.
2. Многократно повысит надежность и срок службы кинематических узлов, благодаря применению режима безударного регулирования скорости, плавным разгонным и тормозным характеристиками современных сервоприводов.
3. Позволит отказаться от механизма выборки люфта с контргрузами, тросами, роликами.
4. Позволит избавиться от многокилометрового кабельного хозяйства, многократно повысит надежность электроники за счет применения компонентов нового поколения и превентивных мер грозозащиты.
5. Многократно упростит схему взаимодействия с АСУ верхнего уровня.
6. Существенно повысит повторяемость и точность позиционирования ОЭ.
7. Существенно (на порядок) повысит скорость установки ПО и интенсивность (количество) наблюдений дискретных источников на АС «Юг+Плоский».
8. За счет повышения КПД кинематических механизмов и скоростей перемещения щита многократно снизятся энергозатраты на выполнение фиксированного объема наблюдений и потери наблюдательного времени на проведение регламентных работ.

Авторы благодарны Э. И. Коркину за полезное обсуждение в процессе разработки концепции проекта.

Работа выполнена в рамках Государственного задания: №АААА-А17-117011810013-4, при частичной поддержке Программы ПРАН №28 «Космос: исследования фундаментальных процессов и их взаимосвязей», проект 1Д.

Л и т е р а т у р а

1. *Кайдановский Н. Л.* Сопровождение источников радиоизлучения при наблюдениях с помощью антенны переменного профиля (АПП) // *Астрофизические исследования*. — 1975. — Т. 7. — С. 214.

2. *Шиврис О. Н.* Работа радиотелескопа РАТАН-600 с плоским отражателем // *Изв. САО*. — 1980. — Т. 12. — С. 134–140.

3. *Хайкин В. Б., Лебедев М. К., Бурсов Н. Н., Стороженко А. А., Овчинникова Н. Е., Богод В. М.* // Методические результаты наблюдений Солнца в режиме сопровождения (сканирования) на радиотелескопе РАТАН-600. // *Труды ИПА РАН*. — СПб.: ИПА РАН, 2018. — Вып. 47, С. 53–57.

4. *Letrou Ch., Lebedev M., Khaikin V., Boag A.* Analysis of RATAN-600 Radiation Patterns in New Operation Modes Using the MLPO Algorithm. // *In Proceed. of COMCAS 2017, Nov. 2017, Tel-Aviv, Israel*.

5. *Богод В. М., Рябуха В. С., Хайкин В. Б., Призов П. В., Лебедев М. К., Стороженко А. А., Хенталов А. В., Рябуха Ю. В., Яковлев С. В.* Результаты поисковых исследований по улучшению кинематических характеристик отражательных элементов радиотелескопа РАТАН-600 // *Труды ИПА РАН*. — СПб: ИПА РАН, 2012. — Вып. 24. — С. 46–56.

Project for Modernization of Kinematic Modules, Drives and Control System of Flat Reflector Panels of RATAN-600 Radio Telescope

**V. B. Khaikin, A. A. Storozhenko, S. V. Shlenzin, M. K. Lebedev,
M. Yu. Vasil'kov, D. O. Svetlov, V. M. Bogod**

We discuss the project for modernization of kinematic modules, machinery, drives and the control system of the Flat reflector panels of the RATAN-600 “South sector and Flat reflector” antenna system. The project for modernization of the Circular reflector panels was proposed earlier. The modernization of panels of the Circular and Flat reflectors would increase their positioning accuracy and speed, the instrument operation versatility and reliability, and allow to realize perspective modes of the antenna system operation, including the prolonged tracking and scanning regime of the “South and Flat” antenna system. Furthermore, the modernization would stop the progressive wear of the existing kinematic modules and inevitable increase in the instrument operational cost. Following the modernization, the Flat reflector positional agility, hence the number of observations of discrete celestial sources on the “South and Flat” antenna system, could be increased by an order of magnitude. The concept and the peculiarities of the Flat reflector panels modernization, calculation and modeling results, as well as an estimate of the necessary costs are presented.

Keywords: radio telescope, modernization, servo drive, ball screw.