

УДК: 621.396

DOI: 10.26907/rwp29.2025.60-62

ПРОЕКТ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ УНУ СУРА КАК НАГРЕВНОГО СТЕНДА И ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.В. Шиндин, А.В. Востоков, А.В. Першин, А.В. Ильмянов, А.А. Зеленов

*Научно-исследовательский радиофизический институт ННГУ им. Лобачевского, 603950, Россия,
г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, д. 25/12а*

E-mail: shindin@rf.unn.ru

Аннотация. Приведено краткое описание основных составляющих будущего проекта по комплексной модернизации уникальной научной установки СУРА в качестве нагревного стенда и диагностического комплекса. Обосновывается необходимость модернизации в разрезе проводимых на стенде СУРА научных исследований, а также будущих перспективных направлений исследований. Предлагаемый проект является открытым для предложений от всех текущих и планируемых пользователей стенда.

Ключевые слова: стенд СУРА; нагревный стенд; исследования ионосферы; исследования ближнего космоса

THE PROJECT OF COMPREHENSIVE MODERNIZATION OF THE SURA AS A HEATING FACILITY AND DIAGNOSTIC COMPLEX

A.V. Shindin, A.V. Vostokov, A.V. Pershin, A.V. Ilmyanov, A.A. Zelenov

Abstract. A brief description of the main components of the future project for the comprehensive modernization of the unique scientific installation of SURA as a heating facility and diagnostic complex is given. The necessity of modernization in the context of scientific research conducted at the SURA facility, as well as future promising areas of research, is substantiated. The proposed project is open to suggestions from all current and planned facility users.

Keywords: SURA facility; heating facility; ionospheric research; near space research

Введение

Стенд СУРА (рис. 1) за 40 с лишним лет практически непрерывной эксплуатации превратился из просто нагревного стенда в уникальный многофункциональный комплекс по исследованиям ближнего космоса. Разработчиками стенда был заложен необычайно большой запас прочности и благодаря ему мы можем уверенно планировать программу использования стенда еще более чем на 10 лет вперед. При этом естественно использовать опыт эксплуатации других подобных установок (HAARP, Arecibo, США; EISCAT, Норвегия), полученный в том числе при личных визитах в ходе совместной научной работы.



Рис. 1. Экспериментально-опытная база «Васильсурск» и стенд СУРА (дата съемки – 24.05.2025 г., время съемки – 14:10 МСК)

Основные направления модернизаций

Модернизация 2020–2021 гг., направленная в основном на восстановление паспортных технических характеристик стенда, задала тренд на непрерывную, но бережную адаптацию различных компонентов уникальной научной установки к современным реалиям и потребностям ученых. В докладе прежде всего для рассмотрения коллег представлен краткий обзор предлагаемых к разработке и внедрению наиболее значимых доработок и усовершенствований, в основном не требующих значительных финансовых затрат.

Основной характеристикой нагревного стенда является величина эффективной излучаемой мощности (до 300 МВт для стенда СУРА), которая опирается на мощность передатчиков и коэффициент усиления антенной системы. В основе стендаСУРА лежат 3 серийных передатчика ПКВ-250 производства НПО им. Коминтерна с номинальной мощностью 250 кВт каждый. При условии идеально согласованной работы передающего тракта и антенной системы без внесения конструктивных изменений возможно достигнуть суммарной мощности в 1 МВт, что может обеспечить увеличение эффективной излучаемой мощности до 400 МВт.

Прежде всего для обеспечения стабильно высокой мощности, выдаваемой передатчиком ПКВ-250, требуется модернизация резонансных контуров предварительного и оконечного каскада усиления. Особенно это актуально для экспериментов с быстрым скачкообразным изменением частоты накачки [1]. Элемент, требующий особого внимания в контурах настройки – катушка со скользящими контактами на каждом каскаде. Накопленные за время эксплуатации дефекты внутреннего покрытия уменьшают добротность резонансного контура. Варианты устранения данного дефекта в настоящий момент обсуждаются наиболее активно.

Задача постановки экспериментов с быстрой сменой режима воздействия (смена поляризации, частоты, угла наклона) в последнее время стала весьма актуальной [2]. На нагревных стенах HAARP и EISCAT она решается использованием системы управления лучом. На стенде СУРА с 2020 г. компьютерное управление внедрено только для задания временного режима, а настройка передатчиков на нужную частоту, фазировка передатчиков вместе, изменение угла наклона главного лепестка диаграммы направленности и переключение типа поляризации (О или Х) осуществляются в ручном режиме. При этом система переключения поляризации ранее существовала и даже функционировала непродолжительное время в начале жизненного цикла стендана, а передатчики ПКВ-250, согласно документации, обладают штатной системой автоматической настройки на 6 предустановленных частот. К сожалению, восстанавливать обе системы в изначальном виде нецелесообразно. В настоящий момент прорабатывается вопрос о закупке и монтаже реверсивных рубильников с последующей заменой на управляемые реверсивные контакторы, которые позволят в отсутствие сигнала от передатчика переключать поляризацию по команде с пульта управления. Автоматизация процесса настройки на определенную частоту связана с имеющейся, но неиспользуемой штатной системой управления резонансными контурами, включающей несколько редукторов. Новую систему настройки планируется разработать на основе штатной, используя непосредственное управление редукторами с помощью микроконтроллера. Предварительно будет создана цифровая модель разрабатываемой системы управления.

Наиболее трудоемкой видится задача управления лучом диаграммы направленности. Это связано с тем, что для внесения определенной дополнительной задержки используется массив из 12 фазовращателей (по одному на каждый ряд фазированной антенной решетки), управляемых механически путем перемещения короткозамыкающих алюминиевых перемычек по двухпроводным отрезкам фидеров (шлейфов). Кроме того, фаза сигнала, поступающая с передатчиков, независимо регулируется задающими генераторами, а также в ходе ручной фазовой подстройки. При этом какого-либо объективного контроля за диаграммой направленности не ведется (соответствующая методика измерений диаграммы направленности облетным методом в активной разработке с 2022 г.). При модернизации системы наклона луча хотелось бы учесть зависимость требуемых фазовых набегов от частоты, а также предусмотреть возможность их измерения. Это дало бы возможность увеличить эффективную излучаемую мощность за счет повышения коэффициента усиления. На первом этапе модернизации планируется создание цифровой модели имеющихся фазовращателей, определение величин вносимых набегов фазы имеющимися фазовращателями и сопоставление

полученных величин с модельными значениями с целью выявления и устранения несоответствий, связанных, например, с износом конструкции фазовращателя (рис. 2).

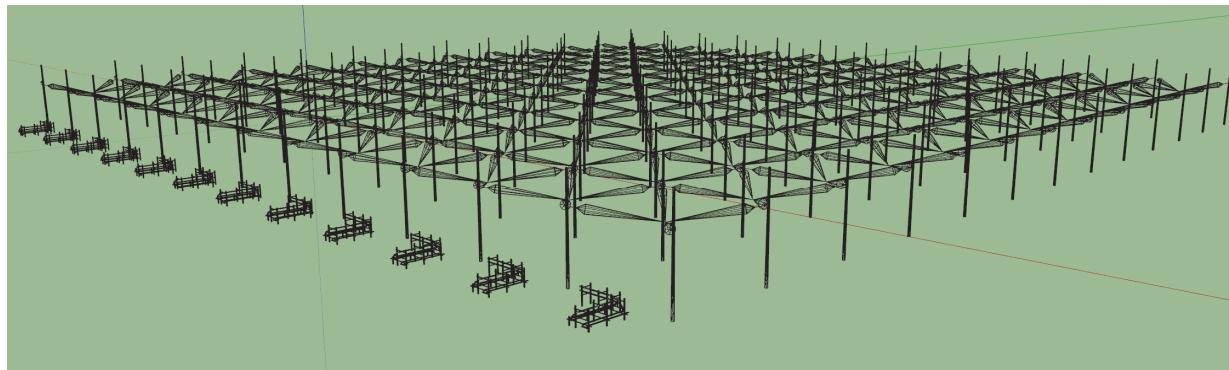


Рис. 2. Трехмерная модель фазированного антенного поля стенда СУРА с фазовращателями (линии запитки диполей скрыты)

Реализация автоматического управления фазировкой передатчиков и задающими генераторами – задача, которая может быть решена в достаточно короткий срок имеющимися средствами. Это приведет к сокращению времени, необходимого на перестройку частоты.

В 2025 году в НИРФИ начаты работы по созданию универсального многоканального логгера (приемника) сигналов на базе ПЛИС и платы собственной разработки. Одно из применений данного устройства – контроль за выходной мощностью и временными режимами каждого передатчика. Для решения этой задачи логгер подключается к петле обратной связи передатчиков, а также к источнику сигналов точного времени. Реализация подобной системы позволит внедрить электронный журнал работы стенда и облегчит анализ экспериментальных данных, полученных из различных источников. Другим применением логгера в случае подключения к входу и выходу фазовращателя и минимальной мощности работы передатчика может являться измерение фазовых набегов при различных положениях перемычки.

Заключение

Реализация предложенных в докладе модернизаций может в достаточно короткий срок (2–3 года) на 30% увеличить эффективную излучаемую мощность стенда СУРА, уменьшить время перестройки на другую частоту и тип поляризации до 10 с; позволит в непрерывном режиме осуществлять контроль за параметрами работы передатчиков и их логгирование; обеспечит измерения диаграммы направленности и других ключевых параметров фазированной антенной решетки стенда.

Благодарности

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РНФ (проект 25-72-20019).

Список литературы

1. Шиндин А.В., Грач С.М., Клименко В.В., Насыров И.А., Сергеев Е.Н., Белецкий А.Б., Ташилин М.А., Гумеров Р.И. Оптическое свечение на длинах волн 630 и 557,7 нм при воздействии на ионосферу коротковолновым излучением стенда «Сура» в области 4-й гармоники электронного гирорезонанса // Известия Вузов. Радиофизика. – 2014. – Т. 57. – № 11. – С. 849–864.
2. Борисова Т.Д., Благовещенская Н.Ф., Калишин А.С. Особенности возбуждения искусственной ионосферной турбулентности при О- и Х-нагреве вблизи критической частоты слоя F2 // Солнечно-земная физика. – 2023. – Т. 9. – №1. – С. 22–32.