

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский радиофизический институт»
(ФГБНУ НИРФИ)

Препринт № 548

Концепция ФГБНУ НИРФИ по модернизации стенда СУРА



Нижний Новгород
2013

Снегирев С.Д., Котик Д.С., Рахлин А.В., Иванников Д.А., Ройзен А.М.
Концепция ФГБНУ НИРФИ по модернизации стенда СУРА

// Препринт № 548. – Нижний Новгород: ФГБНУ НИРФИ, 2013. – 25с.

УДК 520; 523.31-852; 523.4-853; 523.62; 523.9

В данном препринте представлена концепция модернизации стенда СУРА, основанная на переводе его на модульный принцип. Модуль должен состоять из двух передатчиков мощностью 20–30 кВт каждый, нагруженных на 4 скрещенных диполя в диапазоне 4,5–9 МГц с коммутацией на 2 диполя в диапазоне 2,6–2,9 МГц. Рассмотрены принципы построения передатчика модуля и системы управления работой стенда и положением луча в пространстве по низковольтному уровню.

Введение

Целью модернизации стенда СУРА является создание на базе существующей инфраструктуры Уникальной установки России (УСУ СУРА, рег. № 06-30) нового ионосферного радио инструмента, соответствующего задачам и вызовам 21-го века, без прерывания текущих исследований модификации ионосферы. Параметры нового средства воздействия на околоземную плазму должны вывести исследования эффектов воздействия мощным радиоизлучением на ионосферу на новый уровень и сделать их конкурентоспособными по сравнению с новейшим стендом HAARP.

Основные достижения, полученные в последние годы на стенде HAARP, обусловлены двумя факторами: высокой мощностью излучения (3,6 МВт) и частотой воздействия, близкой ко второй гирогармонике электронов в ионосфере (2,8 МГц). На стенде обнаружены новые эффекты, а именно:

- мощное, видимое невооруженным глазом, искусственное свечение, вызванное процессами ускорения электронов под действием мощной волны накачки, и связанное с этим процессом образование искусственного ионосферного слоя;
- модификация параметров верхней ионосферы (восходящие потоки надтепловых ионов и электронов, крупномасштабные неоднородности и т.д.), зафиксированные бортовой аппаратурой спутников DEMETER и DMPS;
- генерация интенсивных низкочастотных радиоволн, не связанная с модуляцией ионосферных токов;
- эффективная инъекция низкочастотных радиоволн в магнитосферу Земли и их взаимодействие с энергичными частицами радиационных поясов (по наблюдениям, как на спутниках, так и в магнитосопряженной точке).

Указанные выше эффекты не связаны с географическим положением стенда HAARP в авроральной области. Большая часть экспериментов была выполнена в условиях низкой геомагнитной активности при отсутствии интенсивной ионосферной токовой струи. Более того, сами американские исследователи отмечают, что высокая динамика потоков энергичных частиц, характерная для внешней области радиационных поясов, под которой расположен стенд HAARP, затрудняет однозначную интерпретацию экспериментов по контролируемым высыпаниям. В настоящее время проводятся

интенсивные работы по завершению строительства низкоширотного нагревного стенда в Аресибо (мощность 0,6 МВт), где будут предприняты новые исследования по воздействию на радиационные пояса.

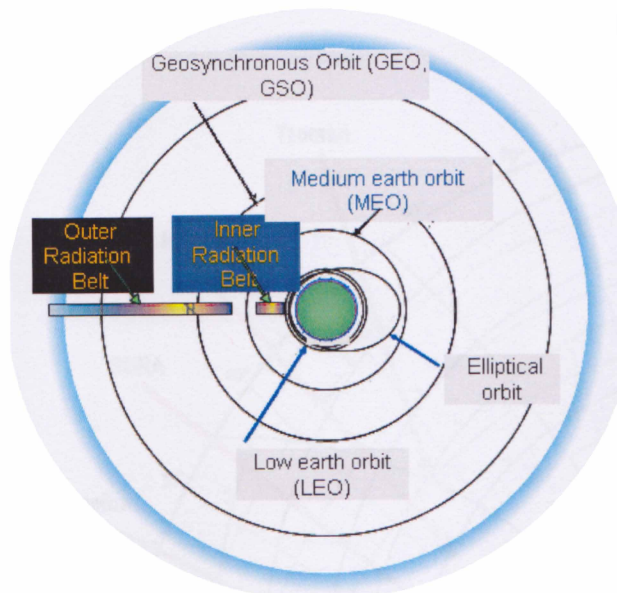
Последние эксперименты, проведенные на стенде HAARP, показали, что упомянутые выше эффекты наблюдаются и при половинной мощности излучения (*RF Ionosphere Interaction Workshop*, Santa Fe, April 17-20, 2012 and April 15-18 2012, on CD).

Задачи, требующие создание инструмента с высоким потенциалом.

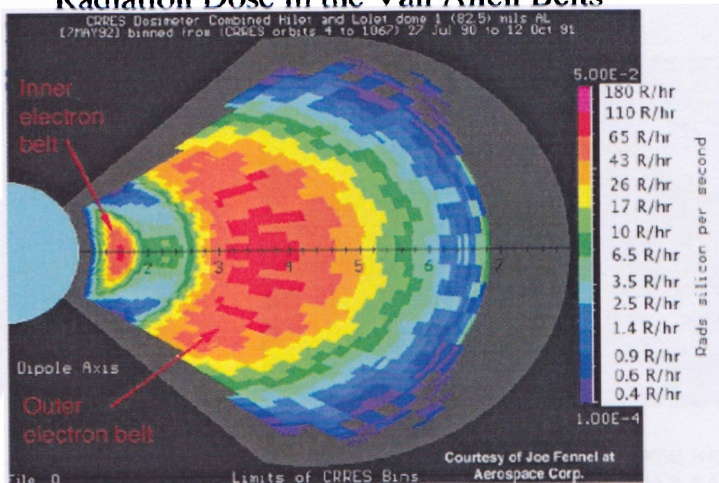
Важнейшей из таких задач является осуществление контролируемых высыпаний высокоэнергичных частиц из радиационных поясов Земли. Это необходимо делать в целях понижения уровня радиации до естественного после природных или антропогенных возмущений для уменьшения угрозы бортовой аппаратуре искусственных спутников Земли (см. рисунок 1). Обладая обновленным инструментом и благодаря его среднеширотному расположению, Россия может принять участие в обсуждаемой в настоящее время международной кооперации по решению задачи восстановления радиационных поясов (см. рисунок 2). В этой кооперации должны быть использованы все существующие в мире аналогичные инструменты.

Вторая задача – управление дальним распространением коротких радиоволн посредством вывода их из ионосферного волновода за счет рассеяния на искусственных мелкомасштабных неоднородностях в интересах повышения надежности и скрытности систем дальней КВ радиосвязи, загоризонтной радиолокации и других радиосистем специального назначения.

Стенд СУРА — в настоящее время единственная для России возможность осуществлять объективный экспериментальный контроль направленности и физической интерпретации результатов исследований, проводимых в США на стенде HAARP.

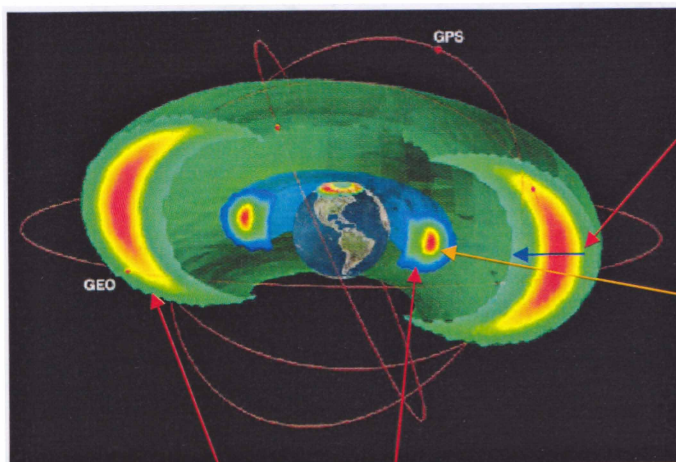


Radiation Dose in the Van Allen Belts



Fennel/Aerospace Corp., 2003

Угрозы спутниковым группировкам



Внешний и внутренний РП

- L – Оболочка. Параметр $L=R/RE$
- Внутренний РП ($1.5 < L < 2.2$) (MeV электроны и мульти-MeV протоны – долго живущие)
- Зазор ($2.2 < L < 3$) – низкий электронный поток (для протонов не существует – максимум $1.5 < L < 3$)
- Внешний РП ($L > 3$) – в основном MeV электроны; Очень динамичные и относительно коротко живущие.

Природные источники

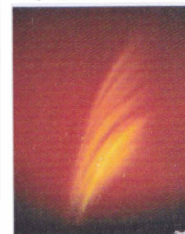
1. Частицы солнечного ветра (внешний радиационный пояс)
2. Дрейф – Ускорение
3. Альbedo космических лучей (внутренний радиационный пояс), $n \Rightarrow p + e + \text{antineutrino}$

Природные возмущения –

магнитные бури, так во время супершторма 1-10 ноября 2003 центр внешнего РП оказался возле $L \sim 2.5$ (в зазоре). Скорость восстановления сильно зависела от параметра L и варьировалась от 35 дней до более года.

Антропогенный источник:

Высотные ядерные взрывы, такие как ARGUS, Starfish инжестировали MeV электроны, захваченные внутренним РП до 1969 г

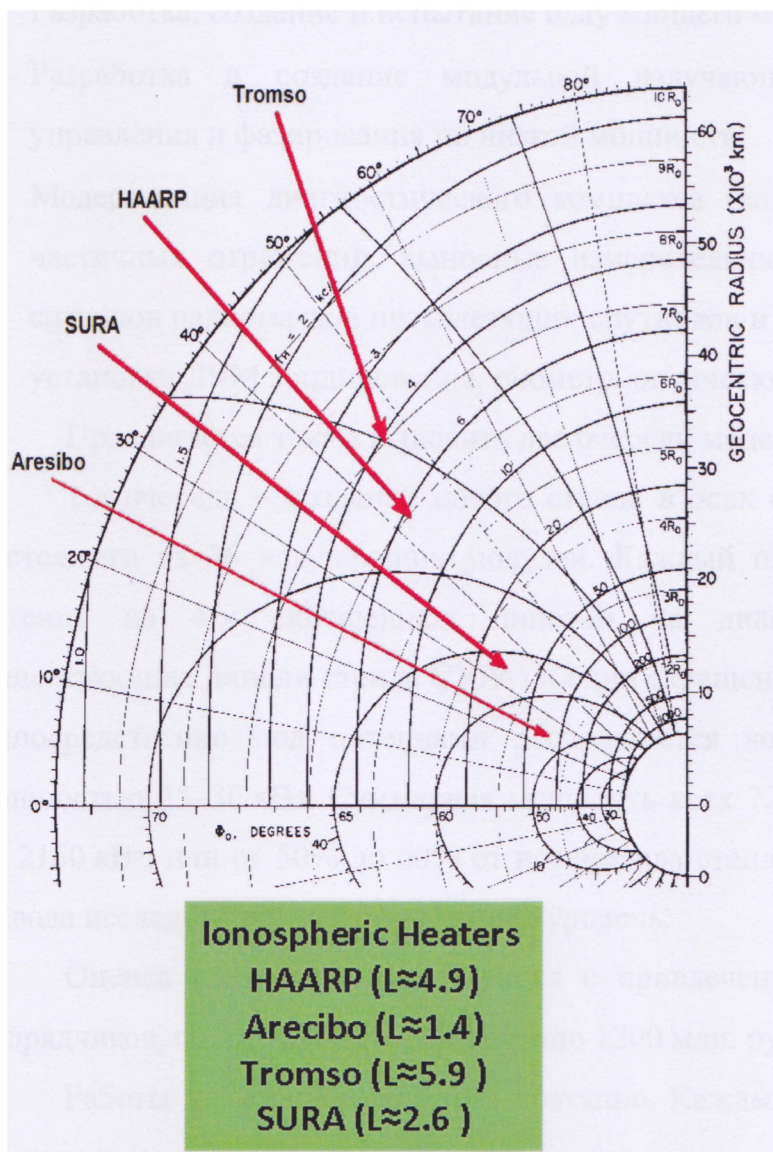


Starfish, 1962, 14 mt, 400 km alt

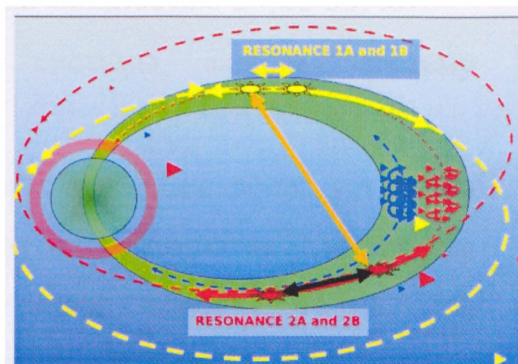
Nuclear Weapon Archive, 2005

Современные угрозы: Перехват ракеты ядерной боеголовкой ПРО выше 110 км, над Ираном или Северной Кореей – приведёт к потере низко-орбитальных спутников в течение месяца (D. Papadopoulos, RF Ionosphere Interaction Workshop, Santa Fe, April 15-18 2012, on CD).

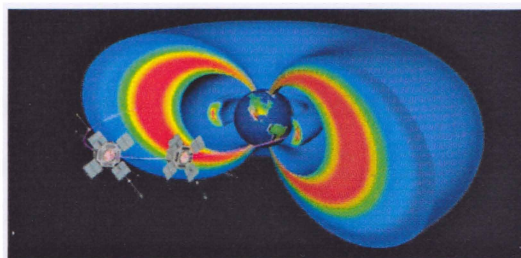
Рисунок 1 – Реабилитация (восстановление) радиационных поясов методом инжестирования в магнитосферу искусственных низкочастотных радиоволн, генерируемых нагревными стендами



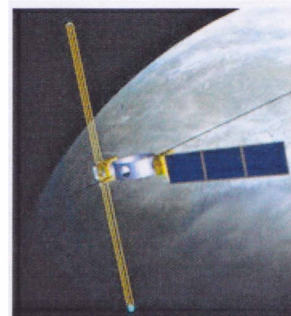
Четыре действующие в мире станция по модификации ионосферы способны предпринять коллективные усилия по «реабилитации» радиационных поясов



Резонанс (РФ) - две пары спутников на одной орбите каждая, запуск ~2013-14.
 Орбита: 1800x30,000 км, наклон ~ 63°.



RBSP (зонд бурь в РП) - два спутника, запуск май 18, 2012, наклон 10°, 9-ти часовая орбита, ~500 км x 30,600 км



Средне-орбитальный спутник DSX (AFRL), запуск ~2012

Рисунок 2 – Международное сотрудничество в области воздействия на радиационные пояса

и 24 передатчиков. Срок выполнения работ 2–3 года.

В наших предложениях мы исходили из энерговооруженности стенда СУРА, которая на сегодняшний день составляет 4 МВт.

Имеющиеся в распоряжении ФГБНУ НИРФИ площади на стенде СУРА и производственные помещения позволяют проводить в будущем дальнейшее наращивание потенциала нового инструмента, если этого потребуют новые задачи.

Ниже в таблице представлены основные технические характеристики обновленного стенда СУРА.

Таблица 1

Технические характеристики стенда СУРА после модернизации

Стенды	СУРА	СУРА-М1 1-я очередь	СУРА-М2 2-я очередь	HAARP
Диапазон частот	4,5 – 9 МГц	д-1 – 2,6-3 МГц; д-2 – 4,5- 9 МГц		2.8 – 10 МГц
Число излучателей (скрещенных диполей)	144	36 (д-1) 144 (д-1)	48 (д-1) 192 (д-2)	168
Суммарная мощность передатчиков (МВт)	0.75	1,8 – 2,16 МВт	до 2.4 МВт	3,6
Эквивалентная излученная мощность ERP (МВт)	100 – 275	180 – 216 (д-1) 440 – 820 (д-2)	260 (д-1) 500 –1000 (д-2)	400 – 3000 MW
Сканирование лучом	±24° Механическое в плоскости С-Ю	30° от зенита все азимуты Электронное		30° от зенита все азимуты Электронное
Время переключения	20 мин	15 мкс		15 μsec
Поляризация	Х, О,	Х, О, линейная.		Х, О, линейная
Модуляция	CW/AM/ импульсная	CW/AM/FM/ импульсная Пространственная		CW/AM/FM/Pulse Пространственная

2. Модернизация антенно-фидерной системы и переход на модульный принцип построения стенда

Исходными предпосылками проведения модернизации являются возможность использования существующих антенных мачт для размещения излучающих элементов на частоте второй гирогармоники электронов (в дополнение к существующей антенной системе в диапазоне частот 4,5–9 МГц) и высокая энерговооруженность стенда, позволяющая обеспечить излучаемую мощность до 2 МВт при типичном для КВ передатчиков КПД в 50% (подводимая к стенду мощность составляет 4 МВт).

Существующая конструкция антенной системы стенда СУРА позволяет использовать структуру решетки для сооружения второго яруса антенны на частоту второй гармоники гирочастоты – 2,8 МГц, поскольку высота верхней точки железобетонных столбов антенной системы стенда составляет 20 м (высота подвеса антенны диапазона 4,5–9 МГц составляет примерно 11 м, см. рисунок 3).

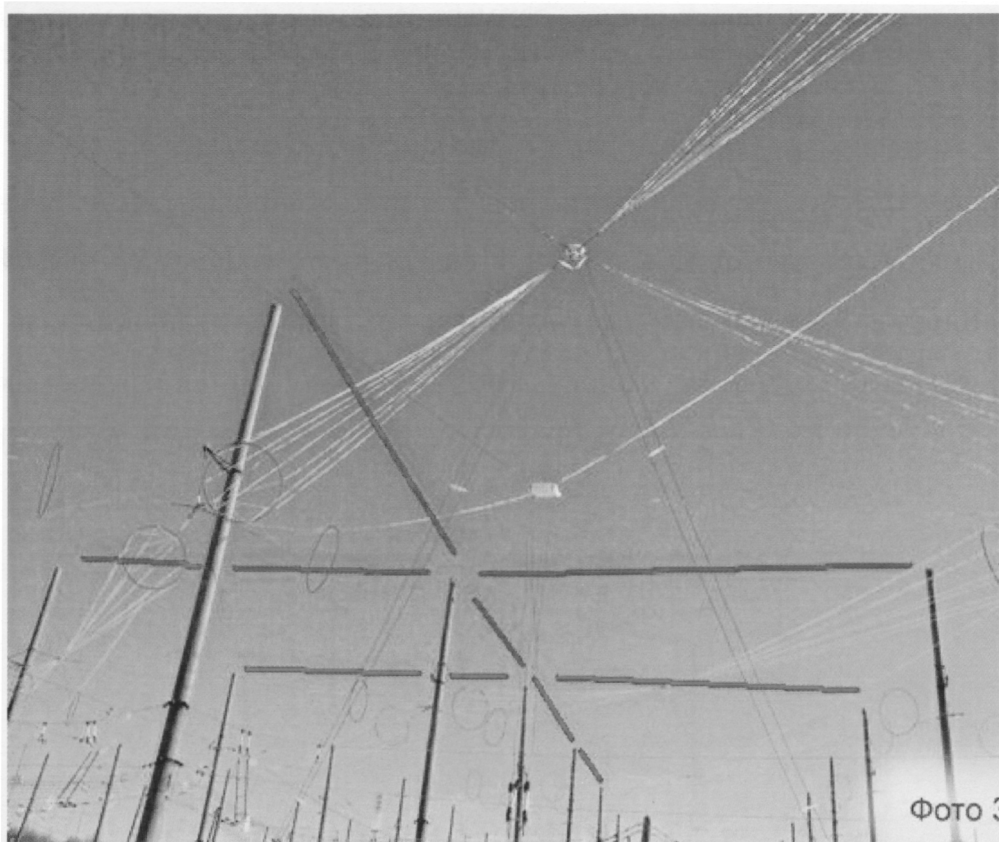


Рисунок 3 – Расположение диполя второго этажа на существующих мачтах антенны

Структура такой двухъярусной антенной решетки показана на рисунке 4.

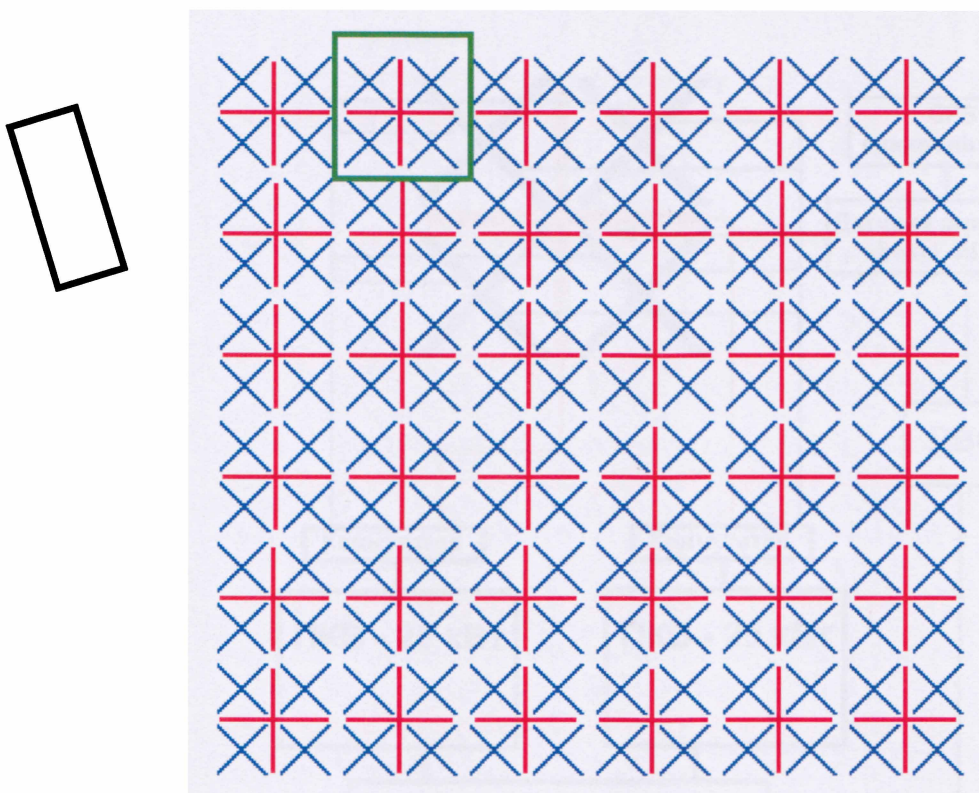


Рисунок 4 – Структура двухъярусной решетки стенда СУРА размером 300×300 м – первая очередь (в левом верхнем углу выделен элемент – модуль нового стенда, слева от решетки показано здание, в котором в настоящее время расположены передатчики стенда, а в будущем должен разместиться ЦУС)

Единичный модуль нового стенда будет состоять из двух скрещенных диполей на частоту 2,8 МГц и 8 диполей на диапазон 4–9 МГц. Каждый из таких модулей должен содержать два широкополосных передатчика (рисунок 5), что позволит управлять параметрами излучения по низковольтному уровню из единого центра управления стендом (ЦУС) (см. рисунки 6 и 7).

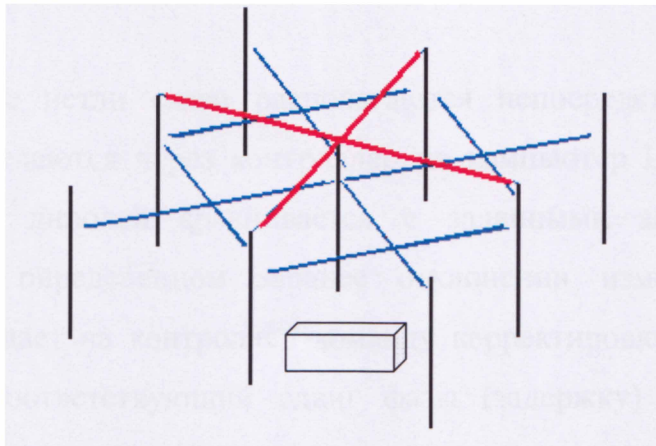


Рисунок 5 – Излучающий модуль стенда СУРА, непосредственно внутри модуля должен быть расположен контейнер с передатчиками

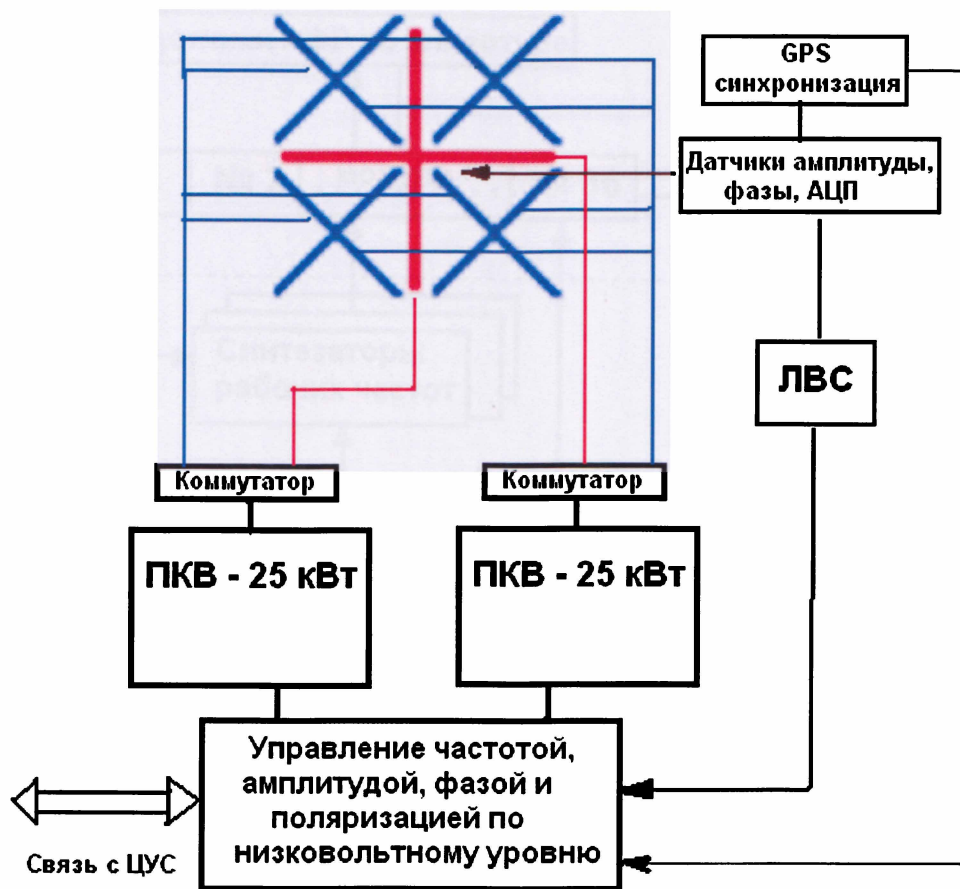


Рисунок 6 – Структура модуля нового стенда

Контроллер модуля предназначен для управления двумя диполями на частоте 2,8 МГц или 8 широкополосными диполями 4–9 МГц. Соответственно АЦП должен быть 8-канальным, считывающим данные одновременно со всех датчиков. Точность привязки по времени – максимально достижимая в системах ГЛОНАСС или GPS (порядка 100 нсек).

Датчики в виде петли связи располагаются непосредственно у каждого из диполей. Данные передаются через контроллер на компьютер ЦУС, где амплитуда и фаза на каждом из диполей сравнивается с заданными значениями, в случае необходимости (при определенном заранее отклонении измеренных параметров) компьютер ЦУС передает на контроллер команду корректировки. Контроллер модуля должен обеспечить соответствующий сдвиг фазы (задержку) аналогового сигнала, подаваемого на усилители мощности.

Более подробно принципы управления параметрами стенда представлены ниже.

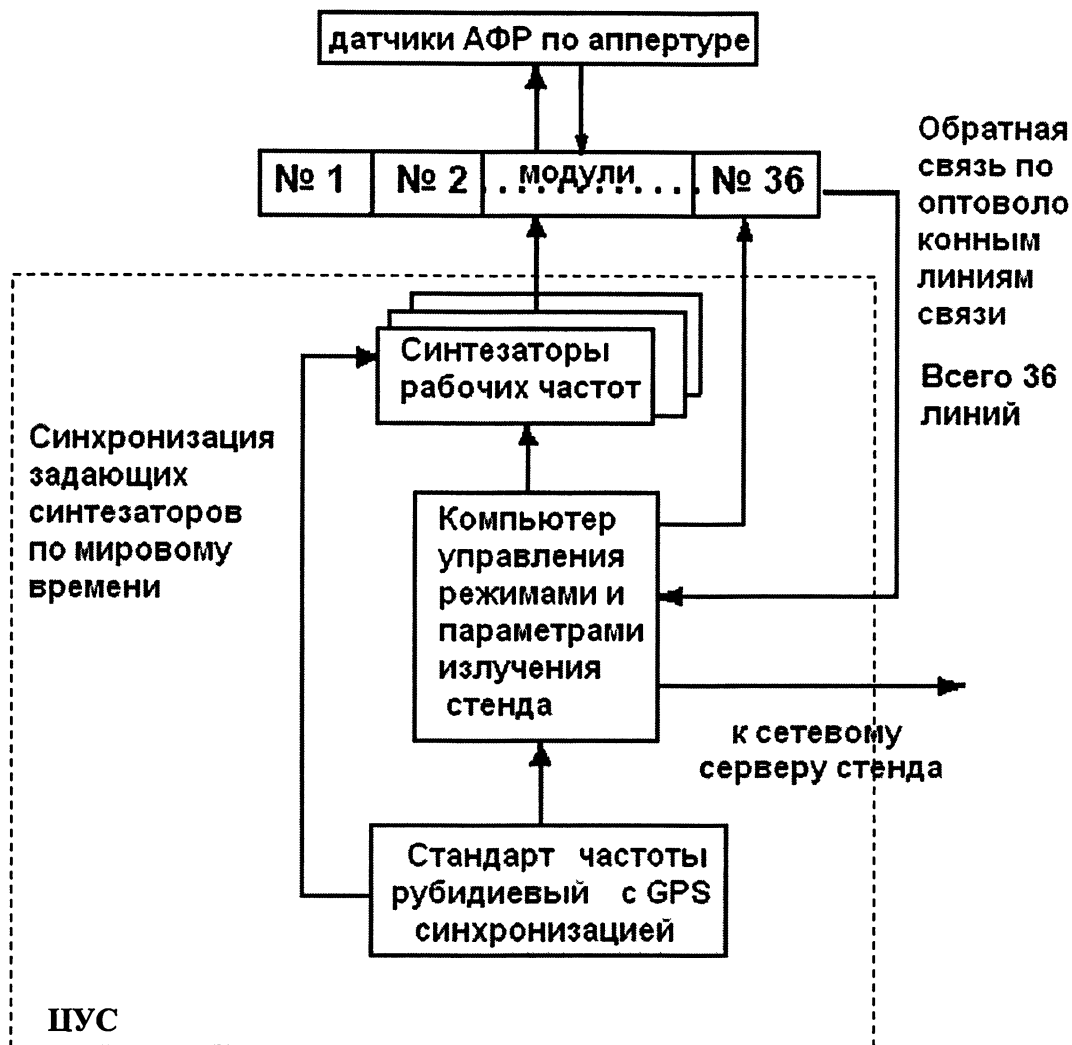


Рисунок 7 – Блок схема управления стендом из единого центра ЦУС

На рисунке 8 показана расчетная диаграмма направленности решетки второго яруса на частоте 2,8 МГц. Коэффициент усиления решётки составляет 20 дБ ($G=100$). Таким образом, после установки непосредственно на антенном поле 72 новых передатчиков мощностью $P = 25$ кВт каждый, эквивалентная излученная мощность составит $72 \times G \times P = 72 \times 100 \times 25$ кВт = 180 МВт. Отметим, что на последнем ежегодном семинаре по модификации ионосферы в Santa Fe был представлен доклад представителя AFRL (Air Forth Research Laboratory) др. Педерсена о результатах экспериментов по модификации ионосферы при половинной мощности передатчиков стенда HAARP (1780 кВт). Из сообщения следует, что в этом случае наблюдается та же картина появления искусственного ионосферного слоя, сопровождаемого мощным искусственным свечением, что и при полной мощности. Данное обстоятельство позволяет предположить, что при указанных выше параметрах обновленного стенда СУРА следует ожидать эффекты, наблюдаемые на стенде HAARP.

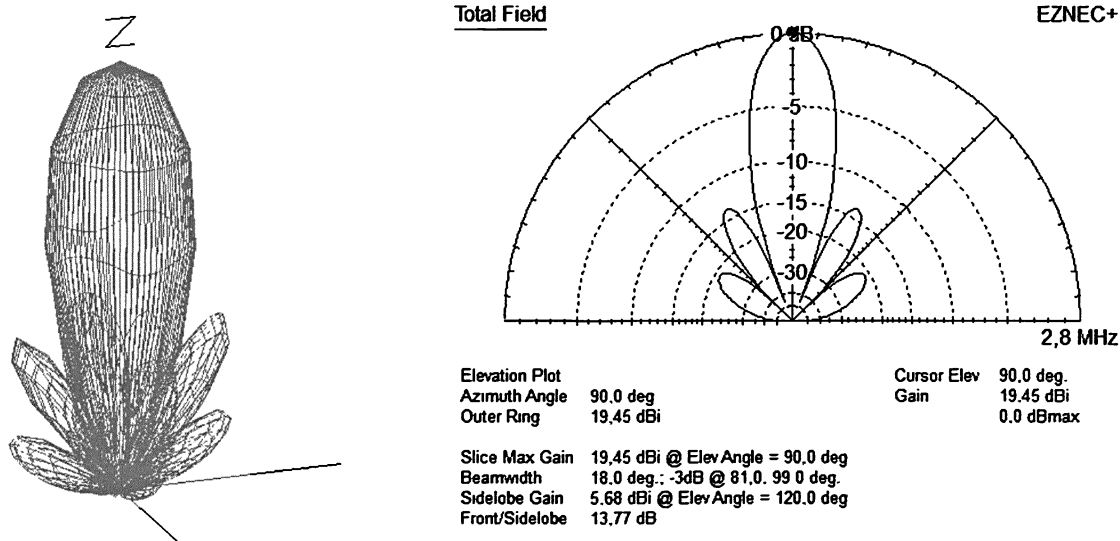


Рисунок 8 – Диаграммные свойства решетки на 2,8 МГц

Ниже будут описаны пути дальнейшего расширения возможностей стенда СУРА.

Выбор мощности единичного передатчика (25 кВт) был обусловлен обеспечением стенда электроэнергией при принятом КПД передатчика, равном 50%. В случае увеличения КПД до 70% мощность единичного передатчика возрастет до 30 кВт. Суммарная мощность тогда возрастет до 2160 кВт, что составит 60% от мощности передатчиков стенда HAARP. Дальнейшее наращивание потенциала возможно только добавлением еще 12 (по 3 с каждой стороны) излучателей по периферии существующей решетки (см. рисунок 9) и 24-х передатчиков соответственно. При этом суммарная мощность стенда возрастет до $96 \times 30 = 2880$ кВт (или 80%, что уже вполне сравнимо с потенциалом стенда HAARP). За счет увеличения площади решетки возрастет также и коэффициент усиления антенны, хотя и незначительно (примерно на 1,3 ДБ), при этом значительно уменьшится уровень боковых лепестков, и на 2 градуса уменьшится ширина диаграммы направленности благодаря практически круговой апертуре решетки (см. рисунок 10).

При определении возможных параметров нового стенда мы исходили из энергетического потенциала полигона «Васильсурск». В настоящее время к стенду подведено 4 МВт электроэнергии, из которых используется только 2 МВт, и 2 МВт находятся в резерве. Таким образом, собственно на передатчики можно использовать примерно 3,5–3,8 МВт, поскольку остальная мощность потребуется на обеспечение функционирования диагностических комплексов. Следовательно, чтобы обеспечить примерно 3 МВт излучаемой мощности необходимо иметь КПД передатчиков близким к 80%. Дальнейшее наращивание потенциала стенда за счет увеличения мощности

передатчиков или наращивания антенны возможно только при увеличении энергетического обеспечения стенда.

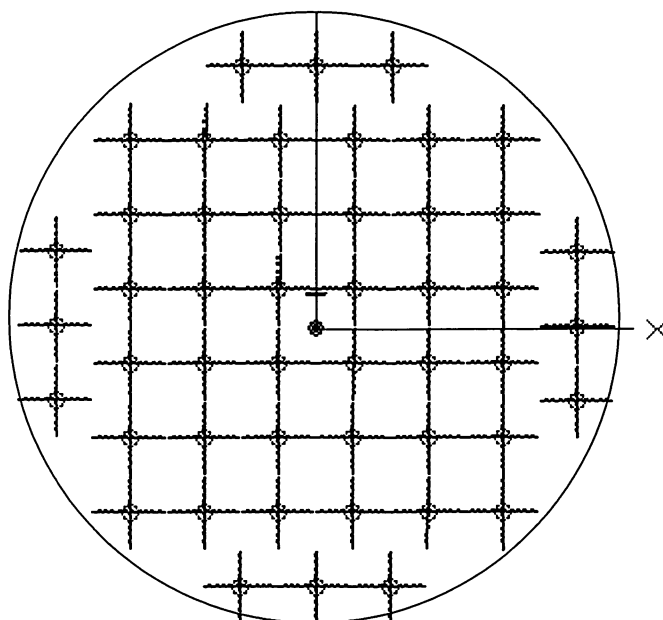


Рисунок 9 – Решетка стенда СУРА с добавленными по периферии излучателями (вторая очередь модернизации)

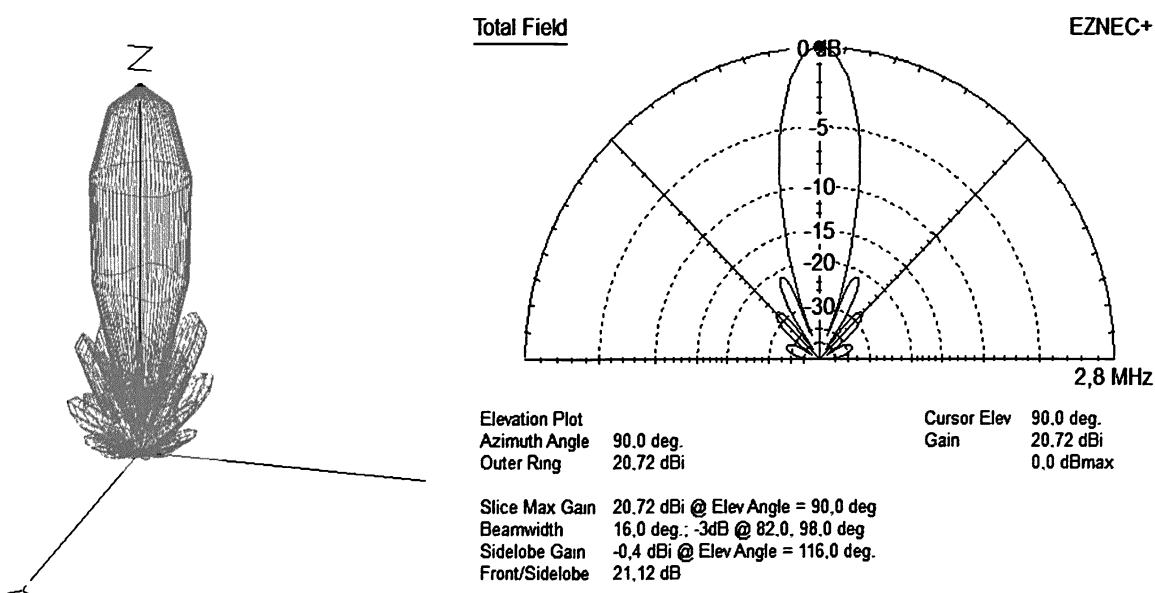


Рисунок 10 – Диаграммные свойства решетки на 2,8 МГц с добавленными по периферии 12-ю элементами

Предварительная оценка стоимости антенных работ (включая проектные работы, монтаж антенно-фидерной системы и ее отладка), проведенная специализированной

фирмой «СвязьСистемСервис», составила в ценах 2011 г. ориентировочно 710 млн.руб.

В ходе выполнения проекта планируется также модернизировать и дополнить диагностический комплекс стенда СУРА новыми средствами, такими как многолучевой иономер, ЛЧМ-ионозонд и т.п. Ориентировочная стоимость этого раздела проекта оставляет 200 млн.руб.

Ориентировочная стоимость всех работ первой очереди по модернизации стенда СУРА приведена в Таблице.

Таблица 2

№№	Наименование работ	Ориентировочная стоимость, млн.руб.
1	Антенно-фидерная система	710,0
2	Передатчики	310,0
3	Система управления	30,0
4	Диагностический комплекс	100,0
5	Реконструкция технологических и лабораторных заданий	50,0
	ИТОГО:	1200

Выше было отмечено, что стоимость 2-й очереди модернизации стенда СУРА оценивается ориентировочно в 600 млн руб.

Как можно видеть, реально достижимые параметры обновленного стенда СУРА позволяют получить современную установку для исследования нелинейных процессов в ионосфере и магнитосфере в 21 веке.

3. Состав, структура и основные технические характеристики радиопередатчиков модуля

Структурная блок-схема передатчика приведена на рисунке 11.

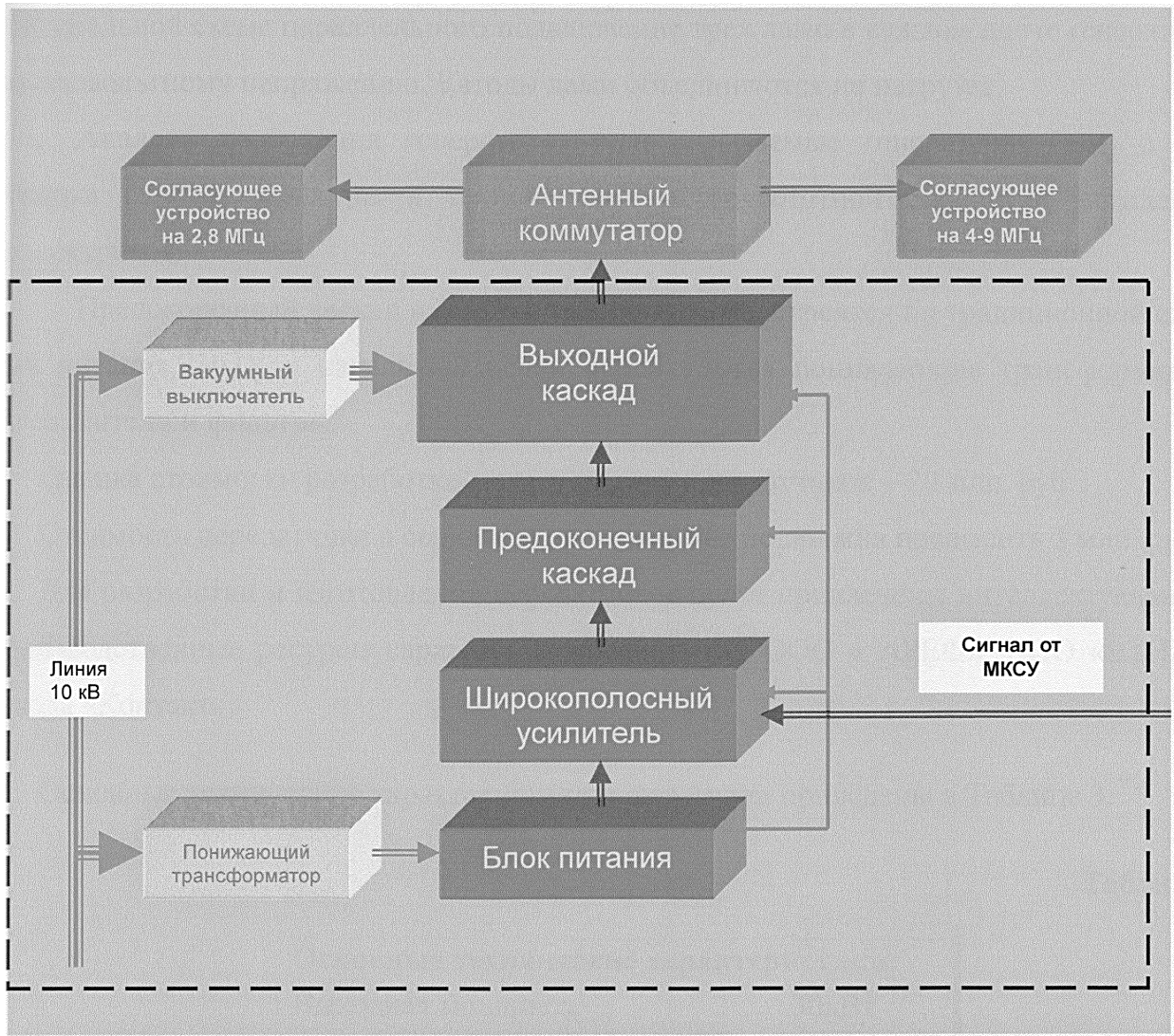


Рисунок 11 – Структура передатчика модуля стенда Сура-С. Антенный коммутатор и согласующие устройства должны располагаться вне контейнера с передатчиками.

Поскольку количество передатчиков, располагаемых на антенном поле, велико (72 шт), а мощность, потребляемая каждым передатчиком, составляет примерно 50 кВт, возникает большое затруднение в создании системы электропитания передатчиков: Если на питающей подстанции понизить напряжение с 10 кВ до 0,4 кВ и затем подводить энергию к каждому из передатчиков кабелем 0,4 кВ, то, во-первых, понадобятся кабели с сечением жил, соответствующих достаточно большому току, во-вторых, каждому передатчику понадобится анодный трансформатор. С учётом сказанного предлагается от

станции к каждому передатчику подводить энергию в габаритах 10 КВ.

Оконечный каскад передатчика предполагается построить по схеме усилителя мощности, где в каждом плече будут установлены по три одинаковых лампы средней мощности с воздушным охлаждением, что позволит в сумме обеспечить на выходе требуемую мощность в 25–30 кВт. Высокий КПД предполагается достичь благодаря оригинальной схеме параллельного подключения трех ламп в каждом плече генератора к высоковольтному напряжению. Катоды ламп объединяются на нагрузке.

Аналоги построения генераторов (так называемые генераторы ТВЧ) с КПД порядка 75–85% известны в технологиях высокочастотной обработки металлов и электриков.

Предоконечный каскад и ШПУ – твердотельные, строятся по традиционной схеме. Для питания ШПУ и накальных цепей используются понижающие трансформаторы, выпрямители и фильтры.

Оценка стоимости разработки макета из двух передатчиков – 20 млн. руб.

Стоимость передатчика в серийном производстве не должна превысить 3 млн. руб.

Для разработки и изготовления передатчиков будут привлечены интеллектуальные и производственные ресурсы саратовских предприятий ООО «АРЕФ», НПО «ЭТНА» и завода «Контакт».

Основные технические характеристики передатчика приведены в Таблице 3:

Таблица 3.

Основные технические характеристики:	
Выходная мощность	30кВт
Диапазон излучаемых частот	1,5 -10 мГц
К.П.Д. (не менее)	60-70%
Охлаждение	воздушное
Размещение	контейнерное

4. Состав, структура и потенциальные технические характеристики модуля синтеза, контроля и управления модернизируемого нагревного стенда СУРА

Антенная решетка (АР) модернизируемого нагревного стенда СУРА включает в себя N модулей ($N=36$, см. рисунок 12), расположенных по сторонам квадрата размерами 300×300 м. Каждый модуль стенда состоит из двух скрещенных диполей на частоту 2.8 МГц и 8 диполей на диапазон 4–9 МГц (рисунок 12). Схема подключения элемента АР приведена на рисунке 13.

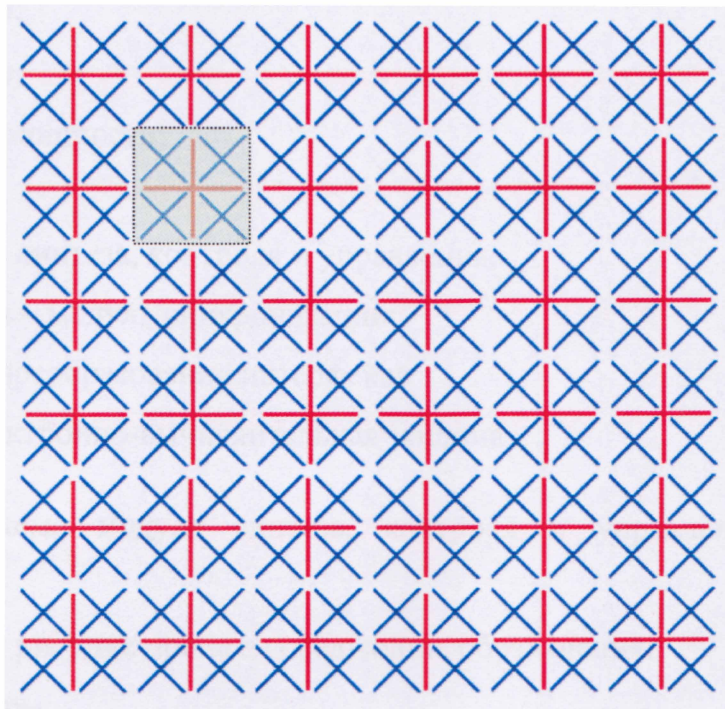


Рисунок 12 – Структура антенной решетки из 36 элементов стенда Сура-С размером 300×300 м (пунктиром выделен отдельный элемент АР)

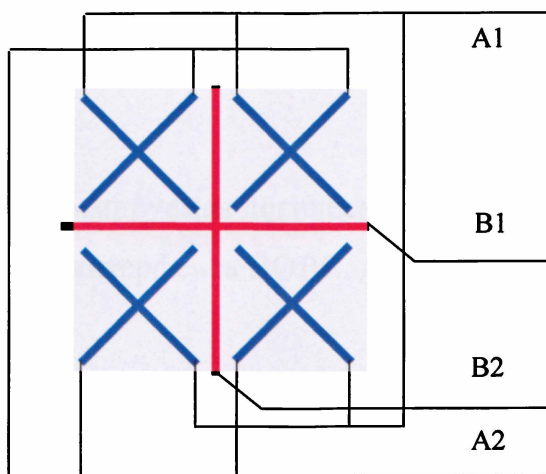


Рисунок 13 – Схема подключения элемента АР

Структурная схема модернизируемого нагревного стенда СУРА приведена на рисунке 14.

На приведенном рисунке приняты следующие обозначения:

РС – рабочая станция;

АР – антенная решетка;

МУ – модуль усиления;

ЦПУ – центрального пост управления.

ЭАР_N – элемент антенной решетки ($N=36$);

K_N – коммутатор;

$\Sigma_{1,2}$ – сумматоры;

U_M – усилители мощности;

Φ_N – фильтры;

МСКУ – модуль синтеза, контроля и управления;

МС GPS/Glonass – модуль синхронизации;

МПИ – модуль преобразования интерфейса

ЭВМ ЦПУ – электронно-вычислительная машина

Структурная схема модуля синтеза, контроля и управления приведена на рисунке 15.

На приведенном рисунке приняты следующие обозначения:

$A_{1,2}$ – аттенюаторы;

АЦП $_{1,2}$ – аналого-цифровые преобразователи;

ПЛИС $_{1,2}$ – буферные программируемые логические интегральные схемы;

$S_{\text{опорн}}$ – синтезатор опорной частоты;

$S_{1,2}$ – синтезаторы частот;

ФД $_{1,2}$ – фазовые детекторы;

ПЛИС – управляющая программируемая логическая интегральная схема;

ПИ ВОЛС – преобразователь интерфейса ВОЛС.

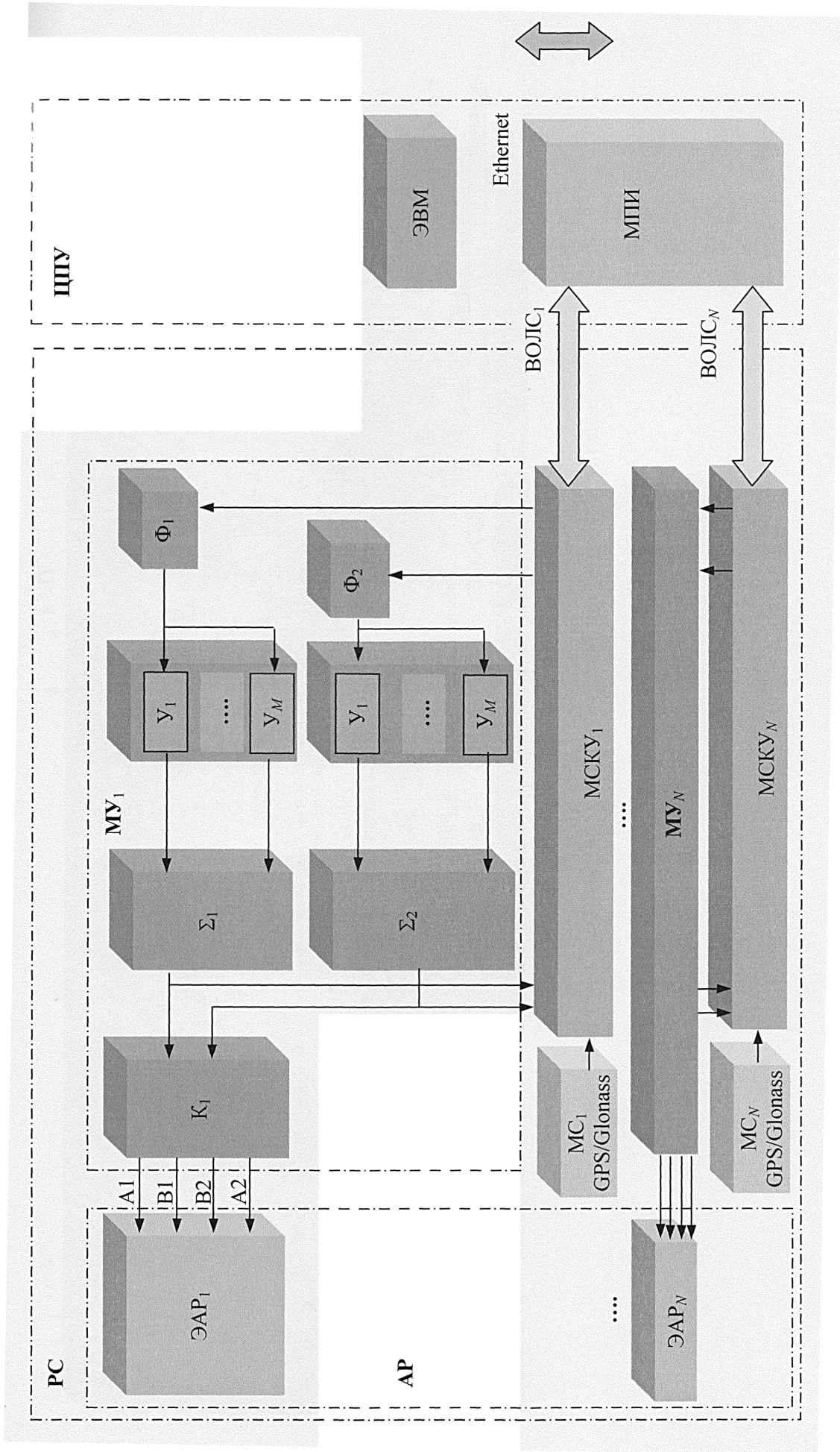


Рисунок 14 – Структурная схема модернизируемого нагревного стэнда СУРА

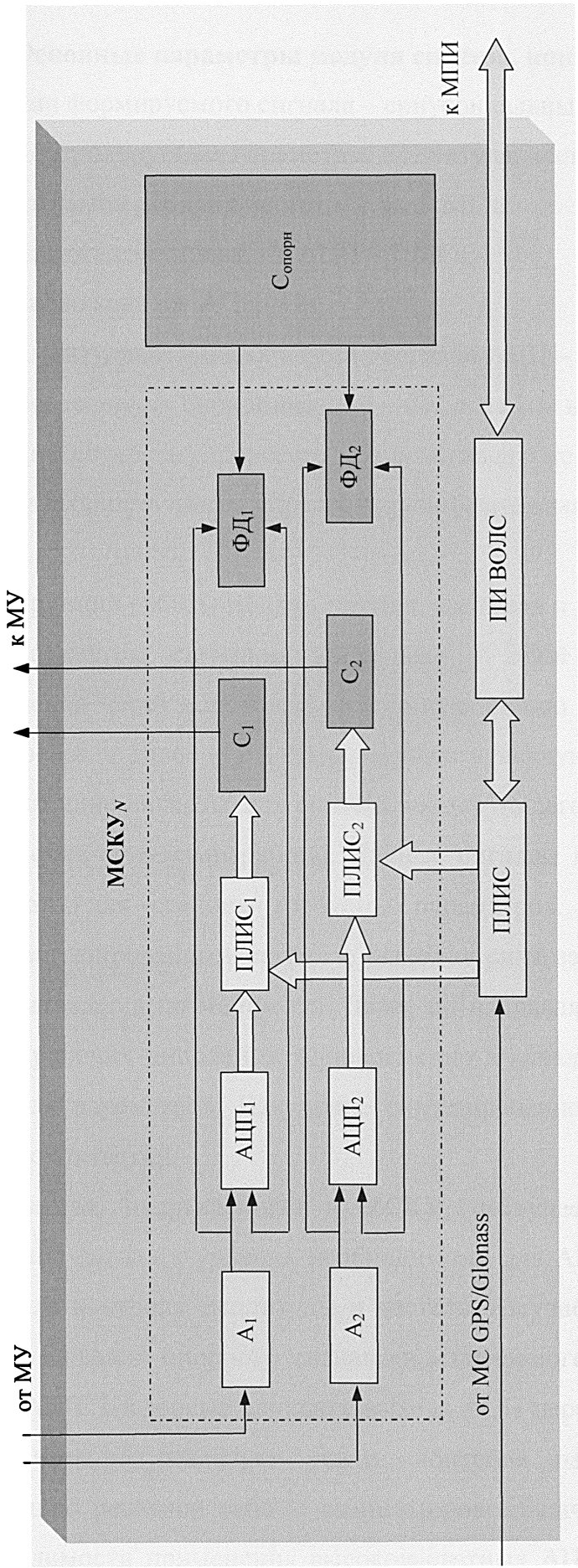


Рисунок 15 – Структурная схема модуля синтеза, контроля и управления

Основные параметры модуля синтеза, контроля и управления:

Тип формируемого сигнала – синусоидальный непрерывный/импульсный;

Контролируемые параметры: амплитуда, частота, фаза;

Диапазон рабочих частот – 2.8...9 МГц;

Частота сэмпирования АЦП – 1 МГц;

Число каналов АЦП – 2;

Амплитудный динамический диапазон АЦП – не менее 60 дБ;

Погрешность синхронизации – не более 100 нс;

Дискретность управления фазой сигнала – не более 1 град.;

Разрядность линии управления синтезаторами частот – 14...18;

Принцип работы модуля синтеза, контроля и управления состоит в следующем.

Параметры сигналов, введенные в ЭВМ оператором с центрального поста управления через волоконно-оптическую линию связи поступают на преобразователь интерфейса и далее – в ПЛИС, осуществляющую дешифрацию команд управления в управляющие сигналы для синтеза зондирующего сигнала, контроля его параметров и управления режимами работы. Данные сигналы передаются через буферную ПЛИС в синтезатор для установки требуемых параметров.

Синтезированный сигнал с выходов синтезаторов поступает в модули усиления, где усиливается по мощности. Далее он направляется в коммутатор, осуществляющий выбор рабочих диполей, и одновременно в канал синтеза, контроля и управления для контроля параметров. Излучение синтезированного сигнала выполняется элементами антенной решетки.

Сигнал, направленный в МСКУ, поступает на аттенюаторы, преобразующие выходной сигнал к уровню, необходимому для АЦП и ФД, а затем – на первый канал АЦП для контроля амплитуды и частоты излучаемого сигнала и на вход ФД. Сигнал рассогласования опорного сигнала и излучаемого с выхода ФД поступает на второй канал АЦП. Цифровые данные с выхода АЦП передаются на буферную ПЛИС, которая дополнительно реализует режим контроля параметров сигнала и оперативную коррекцию режимов работы синтезаторов. Наличие фазового детектора избавляет от необходимости применения высокочастотных АЦП, сверхскоростных линий передачи

данных и позволяет реализовать коррекцию фазы излучаемого сигнала со значительно более высокой точностью.

Дискретность управления фазой сигнала не более 1 град. достигается путем применения 12-разрядного АЦП. Потенциальная точность установки фазы составляет: $360 \text{ град.} / 2^{12} = 0.088 \text{ град.}$

Ориентировочная стоимость разработки и создания описанной системы управления, включая стоимость покупных изделий и материалов, составляет на сегодняшний день 20 млн.рублей.

Заключение

Успешное проведение предлагаемой модернизации стенда СУРА позволит получить, с одной стороны новый ионосферный радио инструмент, соответствующий задачам и вызовам 21-го века, на базе существующей инфраструктуры Уникальной установки России (УСУ СУРА, рег. №06-30).

С другой стороны – даст новый импульс к возрождению и дальнейшему развитию радиоэлектронной промышленности в России, поскольку все этапы модернизации (в части антенных систем, передающих устройств, систем управления, усовершенствование существующих и создание новых диагностических установок) предполагают разработку и изготовление высокотехнологичных радиоэлектронных устройств нового поколения.

Оглавление

Введение	3
1. Направления модернизации стенда СУРА	7
2. Модернизация антенно-фидерной системы и переход на модульный принцип построения стенда	9
3. Состав, структура и основные технические характеристики радиопередатчиков модуля	16
4. Состав, структура и потенциальные технические характеристики модуля синтеза, контроля и управления модернизируемого нагревного стенда СУРА	18
Заключение.....	23

КОНЦЕПЦИЯ ФГБНУ НИРФИ
ПО МОДЕРНИЗАЦИИ СТЕНДА СУРА

Снегирев Сергей Донатович
Котик Дмитрий Самойлович
Рахлин Александр Викторович
Иванников Дмитрий Анатольевич
Ройзен Александр Моисеевич

Оригинал макет подготовлен
в ФГБНУ НИРФИ

Подписано в печать 21.01.2013 г. Формат 60 × 84/8
Бумага писчая. Объем 2 усл. п. л. Заказ 5620. Тираж 50.

Отпечатано в ФГБНУ НИРФИ.
603950 Н.Новгород, ул. Б.Печерская, 25/12а