

Я.Н. ЧЕПУРНЫЙ, зав. сектором, Институт ионосферы, Харьков
И.Б. СКЛЯРОВ, главный инженер, Институт ионосферы, Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ КОРОТКОВОЛНОВОГО НАГРЕВНОГО СТЕНДА

Розглянуто варіанти випромінювачів для короткохвильової антенної решітки зенітного випромінювання. Проведено їх комп'ютерне моделювання, проаналізовано отримані технічні характеристики. Запропоновано оптимальний варіант для використання в антенній решітці нагрівного стенду.

Рассмотрены варианты излучателей для коротковолновой антенной решетки зенитного излучения. Проведено их компьютерное моделирование, проанализированы полученные технические характеристики. Предложен оптимальный вариант для использования в антенной решетке нагревного стенда.

The variants of radiating elements for the HF-antenna array of zenithal radiation are considered. Their computer simulation is realized. The got spec characteristics are analyzed. The optimum variant of radiating elements for application in the HF-antenna array of heating stand is offered.

Введение. В исследованиях ионосферы методом некогерентного рассеяния коротковолновый нагревной стенд используется в качестве инструмента, позволяющего осуществлять искусственное возмущение ионосферной плазмы. В состав нагревного стенда входит широкополосная антенная решетка, предназначенная для излучения в направлении зенита электромагнитных волн линейной либо круговой поляризации большой мощности.

Антенна нагревного стенда Института ионосферы [1, 2] представляет собой синфазную решетку, состоящую из горизонтальных проволочных вибраторов (16 вибраторов в ряду, 16 рядов) и распределительных фидеров. Каждый вибратор запитывается одновременно из двух смежных вершин квадрата с требуемым фазовым сдвигом. Это позволяет при двухканальной схеме питания излучать волны как линейной, так и круговой поляризации правого либо левого направления вращения. Излучатели сгруппированы в группы по 2×2 вибратора. Антенное полотно подвешено на высоте 10 м над поверхностью земли. Под антенной в грунт уложен рефлектор, представляющий собой сетку со стороной ячейки 1,4 м.

Разработка проекта антенны была выполнена в 1981 году. В то время методы компьютерного моделирования антенн еще не получили широкого распространения и разработка велась с использованием инженерных расчетов и изготовления масштабного макета излучателя. Используемый излучатель представляет собой достаточно сложную конструкцию (рис.1а). Он состоит из 56 проводов общей длиной более 660 м, имеет 52 места контакта (пайки) и весит более 160 кг. Последняя цифра имеет немаловажное

значение, поскольку от нее зависит усилие натяжения антенного полотна, величина провисания его проводов и, в конечном счете, высота подвеса антенны над поверхностью земли, оказывающая значительное влияние на характеристики антенны. Современные методы компьютерного моделирования позволяют определить, насколько оптимальной является существующая конструкция излучателя, выяснить возможности ее упрощения при сохранении основных технических характеристик.

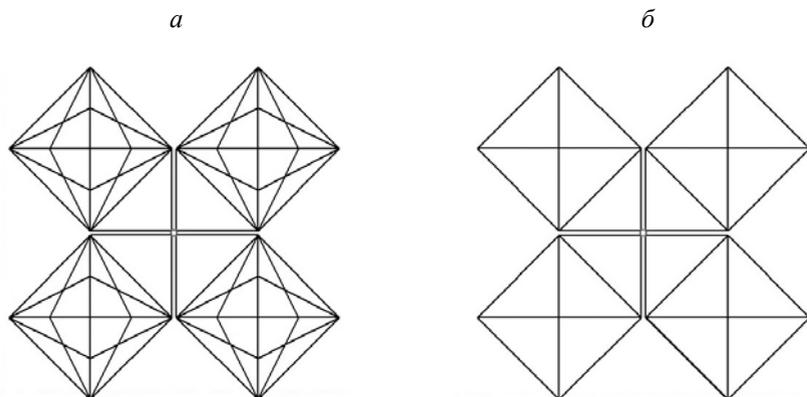


Рис. 1. Излучатели антенной решетки: *a* – существующий, *б* – описанный в [3] (модель 1)

Анализ литературы. Коротковолновые антенные решетки зенитного излучения не нашли широкого распространения в технике связи, где используется излучение в горизонтальном направлении, либо под углом к горизонту. Зарубежные нагревные стенды, как правило, построены по другому принципу, с использованием активных антенных решеток. Работа [3] является одной из немногих, в которой приведены примеры антенн зенитного излучения и их характеристики. В частности, описана более простая конструкция излучателя (рис. 1б) по сравнению с существующим (см. рис. 1а). Согласно описанию, излучатель выполнен из провода диаметром 6 мм. Длина диагонали квадрата составляет $0,395\lambda_0$. Питание подводится к вершинам квадратов с помощью двух систем симметричных фидеров с волновым сопротивлением 600 Ом, которые обеспечивают возбуждение в антенне электромагнитного поля с двумя взаимно-ортогональными поляризациями. При возбуждении фидерных линий со сдвигом фаз, равным 90° , имеет место круговая поляризация. Для изменения направления вращения круговой поляризации достаточно изменить полярность одной из фидерных линий. Приведенные зависимости коэффициента бегущей волны (КБВ) описываемого излучателя в диапазоне

длин волн $(0,85 - 1,15)\lambda_0$ при высоте подвеса $0,154\lambda_0$ и $0,22\lambda_0$ показывают, что более высокие значения КБВ достигаются при высоте подвеса $0,22\lambda_0$. Представляет интерес компьютерное моделирование этой конструкции излучателя с целью определения его основных характеристик в более широком, по сравнению с описанным в [3] диапазоне частот. Кроме того, целесообразно рассмотреть и провести аналогичное компьютерное моделирование других возможных конструкций излучателей, в частности, приведенных на рис. 2.

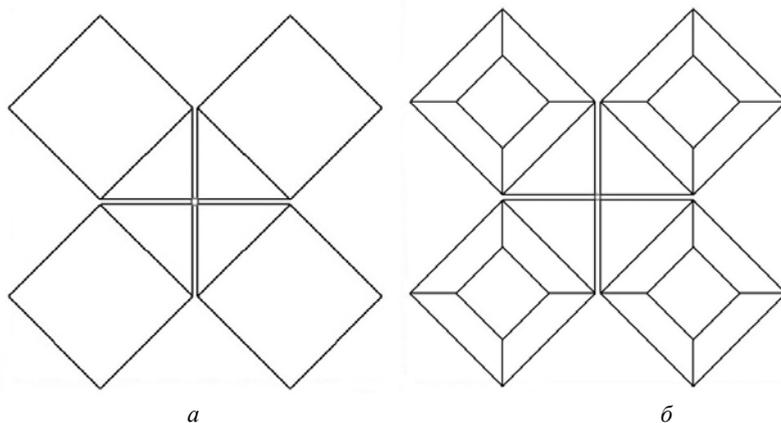


Рис. 2. Излучатели антенной решетки: *a* – модель 2, *б* – модель 3

Габаритные геометрические размеры всех моделей равны и определяются существующим расположением несущих мачт на антенном поле. При этом длина диагонали квадрата излучателя составляет 16 м.

Цель статьи – сравнение характеристик существующего излучателя и предлагаемых моделей, выяснение возможностей упрощения структуры излучателя при сохранении основных технических параметров.

Компьютерное моделирование излучателей проведено с помощью программы MANA-GAL Basic v.3.0.0.15. Расчет производится методом моментов [4]. Материал всех моделей – медь, диаметр провода 6 мм, высота подвеса над уровнем земли – 10 м и 12 м. Поскольку существующая антенна имеет рефлектор, все вычисления в моделях проведены в предположении идеальной земли. Для каждой задаваемой частоты определены: комплексное входное сопротивление, коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) по отношению к заданному волновому сопротивлению фидера, коэффициент усиления антенны, диаграммы направленности (ДН) антенны в азимутальной, угломестной плоскости и трехмерная. Основные результаты моделирования приведены ниже.

На рис. 3 приведены полученные частотные зависимости КСВН модели существующего излучателя и рассматриваемых моделей 1, 2, 3.

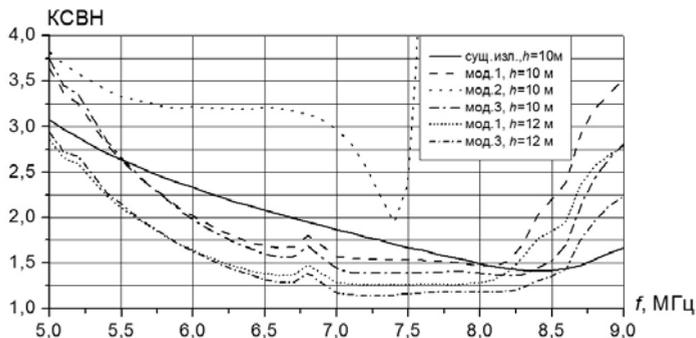


Рис. 3. Частотные зависимости КСВН моделей излучателей

Видно, что существующий излучатель имеет хорошее согласование в средней и верхней части рабочего диапазона частот, однако на нижних частотах его КСВН значительно возрастает и на частоте 5 МГц КСВН > 3.

Излучатель модели 2 (см. рис. 2а) имеет наихудшее согласование и наименьшую полосу рабочих частот. На частотах $f > 7,6$ МГц его КСВН недопустимо высок.

Весьма сходные характеристики КСВН имеют излучатели моделей 1 и 3 (см. рис. 1б, 2б). При высоте подвеса $h = 10$ м по качеству согласования они превосходят существующий излучатель в полосе частот от 5,5 МГц до 8,1 – 8,4 МГц, а при $h = 12$ м – в полосе от 5,0 МГц до 8,2 МГц (модель 1) и до 8,6 МГц (модель 3).

Таким образом, наилучшее качество согласования в рабочем диапазоне частот имеет излучатель модели 3, несколько худшее – модели 1. С точки зрения согласования предпочтительной является высота подвеса $h = 12$ м, однако и при $h = 10$ м характеристики КСВН этих излучателей остаются приемлемыми практически во всем рабочем диапазоне частот.

На рис. 4 приведены полученные частотные зависимости коэффициента усиления G рассматриваемых излучателей.

Представленные зависимости показывают, что при высоте подвеса 10 м излучатели моделей 1 и 3 в полосе частот 5,0 – 8,2 МГц имеют более высокий коэффициент усиления по сравнению с существующим излучателем. Все кривые имеют провал усиления порядка 1,5 – 1,7 дБ с минимумом на частоте 9 МГц для существующего излучателя; 8,4 МГц – для излучателя модели 1; 8,6 – для модели 3. Для излучателя модели 2 коэффициент усиления падает на 2,7 дБ на частоте 7,6 МГц, на более высоких частотах вычисление G не проводилось из-за неприемлемо высокого

КСВН. Увеличение высоты подвеса с 10 до 12 м ведет к уменьшению усиления на величину от 0,25 дБ на частоте 5 МГц до 1,5 дБ на 9 МГц.

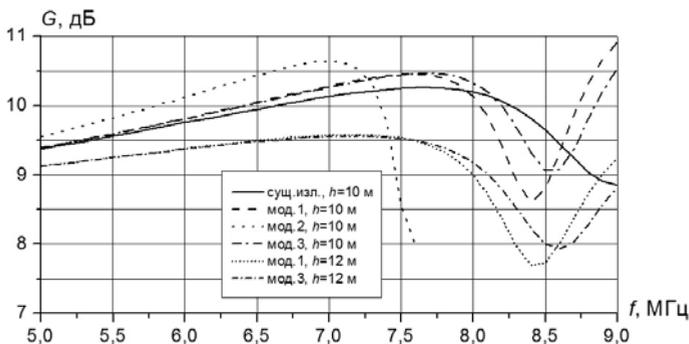


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициента усиления G моделей излучателей

Таким образом, наивысшим коэффициентом усиления в рабочем диапазоне частот обладают излучатели моделей 1 и 3. Более высокие значения коэффициента усиления имеют место при высоте подвеса 10 м.

Диаграммы направленности всех рассматриваемых излучателей являются однолепестковыми, ориентированные максимумом излучения в зенит. На рис. 5 в качестве иллюстрации приведены трехмерные диаграммы направленности излучателя модели 1 при высоте подвеса 12 м на частотах 5, 7 и 9 МГц. Ширина ДН по уровню половинной мощности меняется от 65° на частоте 5 МГц до 58° на частоте 9 МГц. С увеличением частоты происходит сужение ДН в направлении осей X и Y , совпадающих с диагоналями квадратов излучателей, и расширение в направлениях, совпадающих со сторонами квадратов.

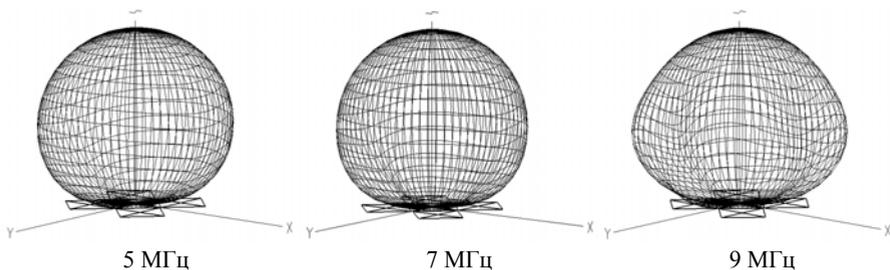


Рис. 5. Трехмерные ДН излучателя модели 1 на частотах 5, 7 и 9 МГц

Оценка материалоемкости рассматриваемых излучателей показала, что она составляет 57 % для модели 1 и 61 % для модели 3 по отношению к существующему варианту.

Выводы. Рассмотренные варианты излучателей моделей 1 и 3 по своим техническим характеристикам могут быть использованы в составе антенной решетки нагревного стенда. Модель 3 является оптимальной по техническим характеристикам, но имеет более сложную конструкцию по сравнению с моделью 1. Для обеспечения максимального коэффициента усиления излучателей следует использовать высоту их подвеса над поверхностью земли $h = 10$ м. Использование предлагаемых излучателей моделей 1 или 3 позволит существенно упростить конструкцию антенной решетки, снизить ее материалоемкость, трудоемкость изготовления и технического обслуживания.

Список литературы: 1. *Богдан А.П., Боговский В.К., Дивавин В.В.* Коротковолновый нагревной стенд // Вестник Харьковского политехнического института. Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. – 1986. – № 234, вып. 4. – С. 16 – 17. 2. *Рогожкин Е.В., Боговский В.К., Смирнов А.Н., Герштейн Л.Я.* Предварительные результаты исследования воздействия КВ-нагрева на ионосферу // Вестник Харьковского политехнического института. Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния. – 1987. – № 248, вып. 5. – С. 47 – 49. 3. Коротковолновые антенны / *Айзенберг Г.З., Белоусов С.П., Журбенко Э.М.* и др.; под ред. *Айзенберга Г.З.* – 2-е, перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 536 с. 4. *Гончаренко И.В.* Антенны КВ и УКВ. Часть 1. Компьютерное моделирование. MMANA. – М.: ИП РадиоСофт, Журнал “Радио”, 2004. – 128 с.

Поступила в редколлегию 12.09.2011