

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 621.396.67

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННО-ФИДЕРНОГО УСТРОЙСТВА ЛАЭРТ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ «ИОНОСФЕРА-М»

А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов,
П. П. Телепнев, Н. А. Белокурова

Мониторинг ионосферы Земли является актуальным для целого ряда направлений хозяйственной деятельности. К сожалению, разрыв между запусками на орбиту спутниковых ионозондов составляет от нескольких лет до нескольких десятков лет. В Федеральную космическую программу Российской Федерации включен проект «Ионозонд-2025», обуславливающий запуск космических аппаратов «Ионосфера-М» № 1 – 4, два из которых проходят летные испытания. Основным целевым оборудованием этих космических аппаратов является бортовой ионозонд ЛАЭРТ и антенно-фидерное устройство ЛАЭРТ. В данной работе проведено сравнение электрических характеристик антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ без учета влияния конструкции космического аппарата «Ионосфера-М» и с учетом ее влияния. Получено, что конструкция космического аппарата не оказывает существенного влияния на электрические характеристики антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ, переданные с борта космического аппарата ионограммы пригодны для дальнейшего анализа.

Ключевые слова: антенно-фидерное устройство, космический аппарат, ионосфера Земли.

Мониторинг ионосферы Земли является актуальным для обеспечения радиосвязи, исследования наводок в электросетях, учета повышенных радиационных доз для оборудования и экипажей космических кораблей и самолетов, а также анализа сейсмо-ионосферных аномалий. Задачу зондирования ионосферы Земли ионозондами внешнего зондирования решали более тринадцати космических аппаратов (КА), запущенных различными государствами: *Alouette 1* (1962), *Explorer 23* (1964), *Alouette 2* (1965), *ISIS 1* (1969), «Космос-381» (1970), *ISS-A* (1976), *ISS-B* (1978), *EXOS B* (1978), «Интеркосмос-19» (1979), *EXOS C* (1984), «Космос-1809» (1986), «КОРОНАС-И» (1994), орбитальная станция «Мир» (1986). В последнее время для зондирования ионосферы также используются спутниковые коротковолновые радары [1]. Разрыв между запусками на орбиту спутниковых ионозондов, даже при учете запусков разными странами, составляет от нескольких лет до нескольких десятков лет. Несмотря на то, что значительный интерес представляет получение в реальном времени результатов, аналогичных полученным ранее от вышеуказанных КА, по-прежнему не существует национальной или международной системы глобального мониторинга ионосферы методом радиозондирования со спутников. Отсутствие информации об ионосфере для больших территорий океана и суши является еще одним весомым аргументом в пользу создания такой системы. Ранее был создан существенный задел по разработке спутниковой системы глобального мониторинга ионосферы, который лег в основу проекта «Ионозонд-2025», вошедшего в Федеральную космическую программу. В этой связи представляется интересным анализ электрических ха-

рактеристик антенно-фидерного устройства (АФУ) ЛАЭРТ для бортового ионозонда для КА «Ионосфера-М» № 1 и № 2.

КА «Ионосфера-М» № 1 и № 2 (рис. 1) предназначены для исследования различных слоев ионосферы Земли. В состав КА «Ионосфера» входит космический ионозонд ЛАЭРТ, используемый для получения ионограмм ионосферы Земли, и АФУ ЛАЭРТ, являющееся преамплификатором и передатчиком бортового ионозонда.

Ионограммы получаются путем обработки отраженных от разных слоев ионосферы электромагнитных волн, излучаемых в широком диапазоне частот передающей антенной АФУ ЛАЭРТ от бортового ионозонда ЛАЭРТ и принимаемых антеннами АФУ ЛАЭРТ с последующей передачей сигнала в бортовой ионозонд ЛАЭРТ.

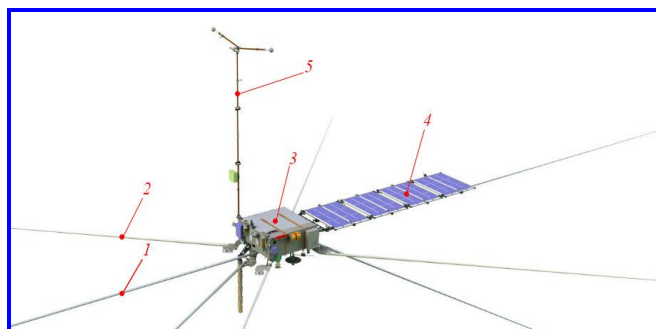


Рис. 1. Общий вид космического аппарата «Ионосфера-М»:
1 – плечо передающей антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ; 2 – плечо приемной антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ; 3 – корпус космического аппарата; 4 – фотоэлектрическая батарея; 5 – штанга низкочастотного волнового комплекса

Антенная система антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ

Исследования и разработка АФУ ЛАЭРТ проводились с учетом электрических и механических требований.

К электрическим требованиям относятся:

- коэффициент стоячей волны (КСВ);
- диаграмма направленности (ДН);
- коэффициент направленного действия (КНД).

К механическим требованиям относятся:

- максимальный размер антенн (не более 30 м);
- возможность размещения на КА, то есть размер плеч антенн в транспортном положении не должен превышать 1 м, а плечи антенн должны быть оснащены механизмами поворота из транспортного положения в рабочее;

– устойчивость конструкции плеч антенн к механическим нагрузкам при выведении, а также устойчивость к воздействиям космической среды (давление, температура, радиационная стойкость).

В результате проведенных исследований и электродинамического моделирования рассчитаны передающая и приемные антенны, в том числе их вид, размеры, расположение и т. д. без учета влияния конструкции КА.

Для учета влияния конструкции КА на АФУ ЛАЭРТ была предложена электродинамическая модель КА. Модель КА, идентичная для всех КА «Ионосфера-М» № 1 – 4, представляет собой корпус в виде металлического параллелепипеда, модель батареи фотоэлектрической (БФ), гальванически соединенную с корпусом КА, штанги низкочастотного волнового комплекса (НВК) в виде металлического Т-образного стержня и модели АФУ ЛАЭРТ (рис. 2).

Целью настоящей статьи является сравнение электрических характеристик АФУ ЛАЭРТ [2] с учетом и без учета конструкции КА «Ионосфера-М».

Следует отметить, что ось Z на рис. 2 направлена в нади́р.

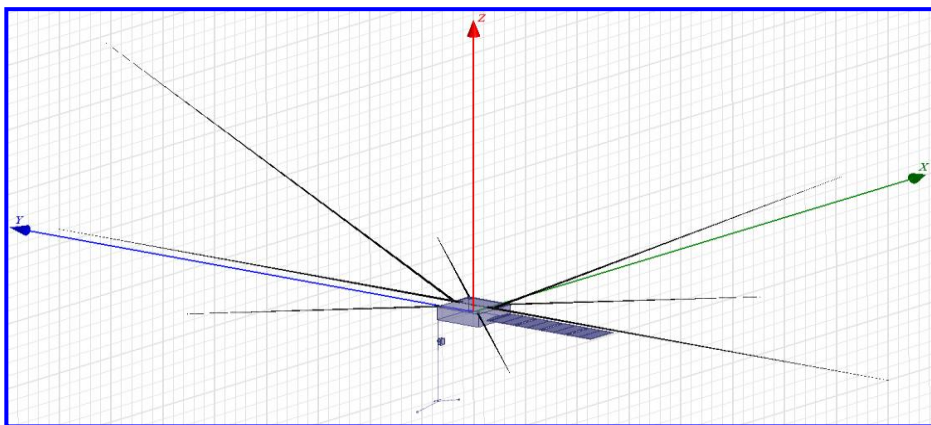


Рис. 2. Электродинамическая модель взаимного расположения приемных и передающих антенн антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ

Применение двух взаимно перпендикулярных, расположенных в одной плоскости, приемных антенн, плечи которых находятся под углом 45° к передающей антенне, позволяет принимать отраженную электромагнитную волну как на основной, так и на паразитной поляризациях.

Рассчитанные в результате моделирования ненормированные ДН в плоскости XOZ передающих антенн АФУ ЛАЭРТ на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц без учета влияния конструкции КА приведены на рис. 3. КСВ передающей антенны при питании ее источником с входным сопротивлением 200 Ом приведен на рис. 4.

Ненормированные диаграммы направленности приемной антенны в плоскости ZOY (Y) на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц приведены на рис. 5.

Рассчитанные в результате моделирования с учетом влияния конструкции космического аппарата ненормированные диаграммы направленности передающей антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ в плоскости ZOY на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц приведены на рис. 6. КСВ передающей антенны при питании ее от источника с внутренним сопротивлением 200 Ом приведен на рис. 7. Ненормированные ДН одной из приемных антенн в плоскости ZOY на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц приведены на рис. 8.

Сравнение полученных электрических характеристик АФУ ЛАЭРТ без учета влияния конструкции КА «Ионосфера-М» (рис. 3 – 5) и с учетом его влияния (рис. 6 – 8) показывает, что применительно к передающей антенне конструкция КА не оказывает существенного влияния на электрические характеристики АФУ ЛАЭРТ, а в случае с приемными антеннами изменение формы диаграммы направленности, вызванное сопоставимостью габаритных размеров антенн и размеров КА, не

оказывает влияние на выполнение целевой задачи антенно-фидерного устройства. Это подтверждает правильность выбора формы, вида, расположения и др. антенных характеристик. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что приемная и передающие антенны успешно выполняют свою целевую задачу. Пример полученной с борта КА «Ионосфера-М» ионограммы показан на рис. 9.

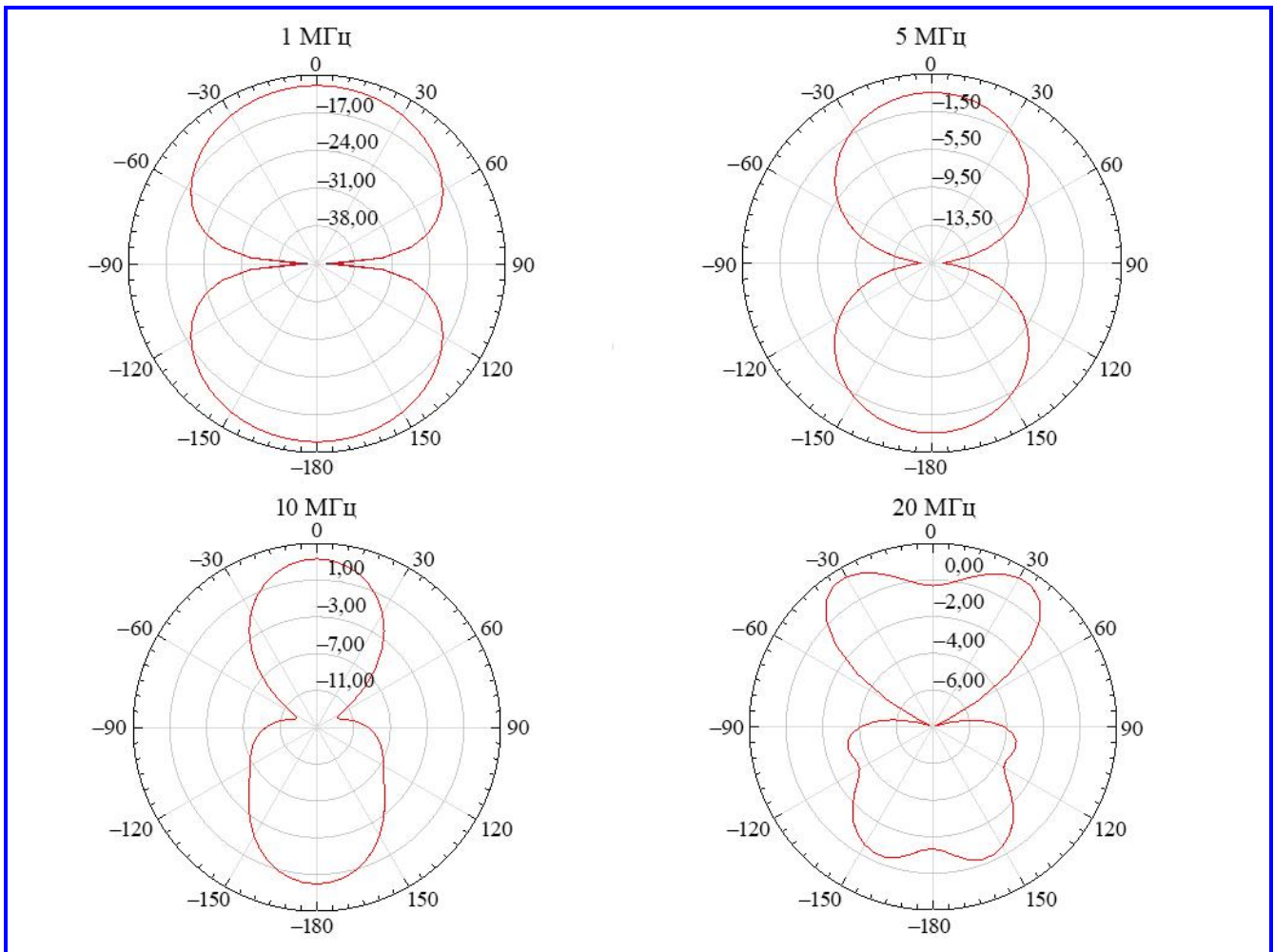


Рис. 3. Ненормированные диаграммы направленности передающей антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ без учета влияния конструкции космического аппарата на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц

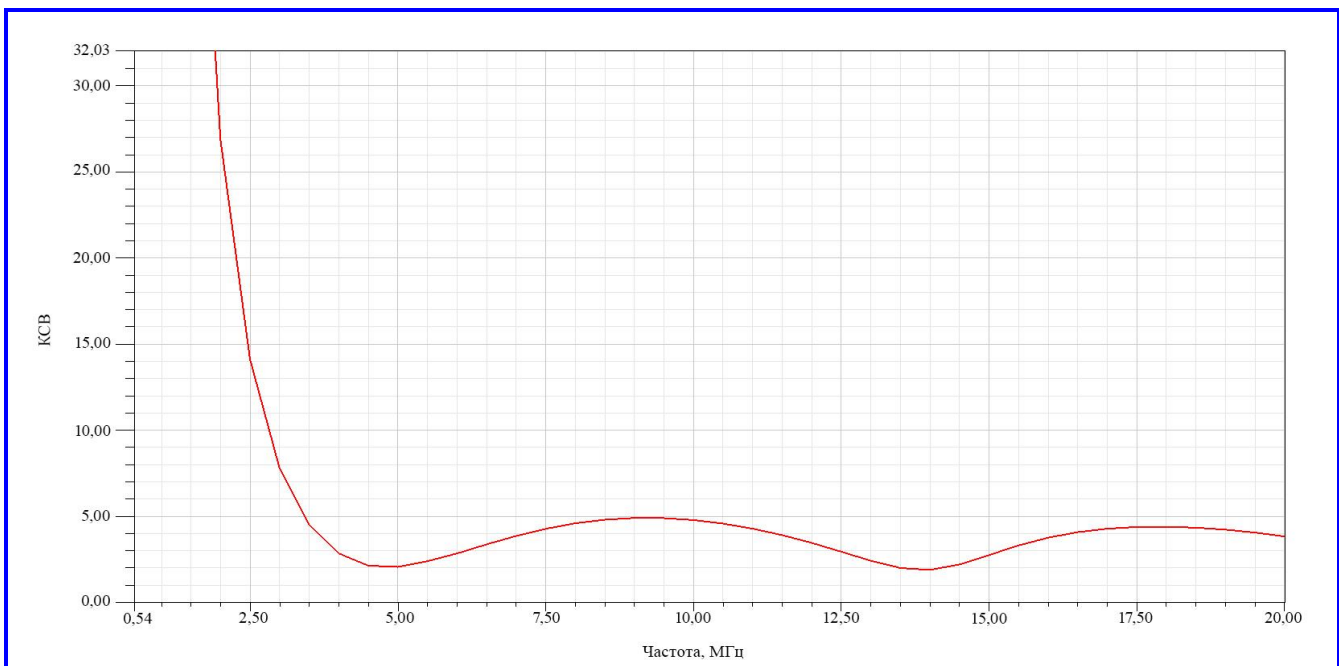


Рис. 4. Коэффициент стоячей волны передающей антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ

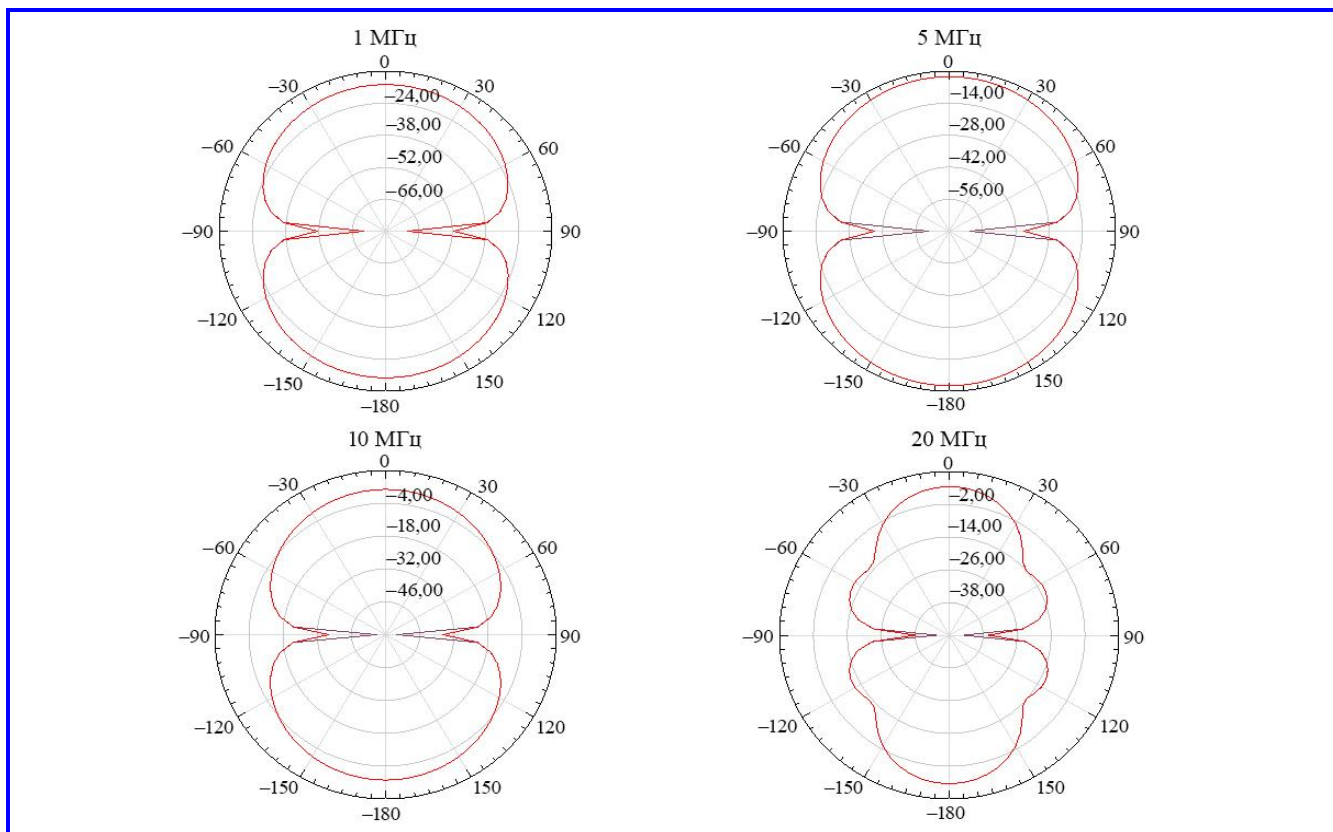


Рис. 5. Ненормированные диаграммы направленности приемной антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц

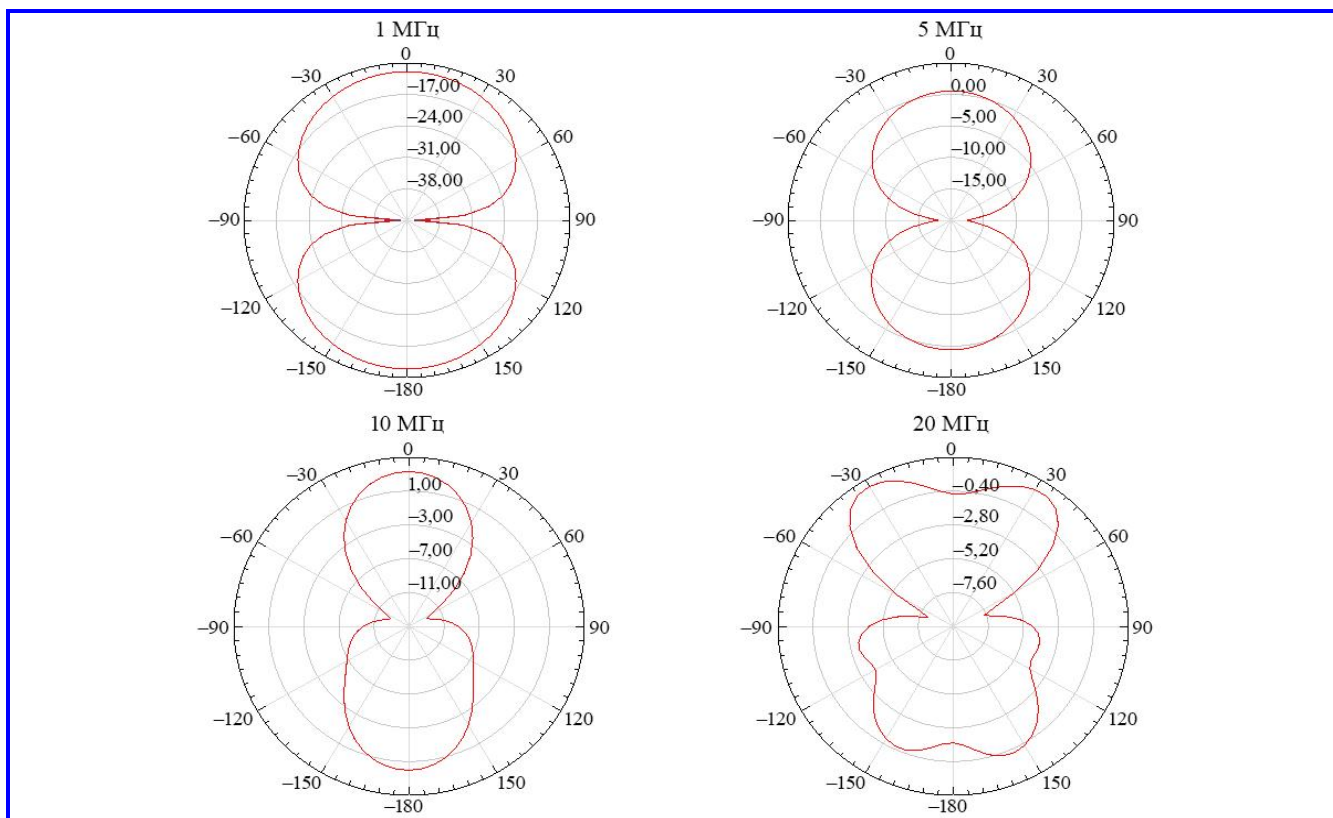


Рис. 6. Ненормированные диаграммы направленности передающей антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ с учетом влияния конструкции космического аппарата на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц

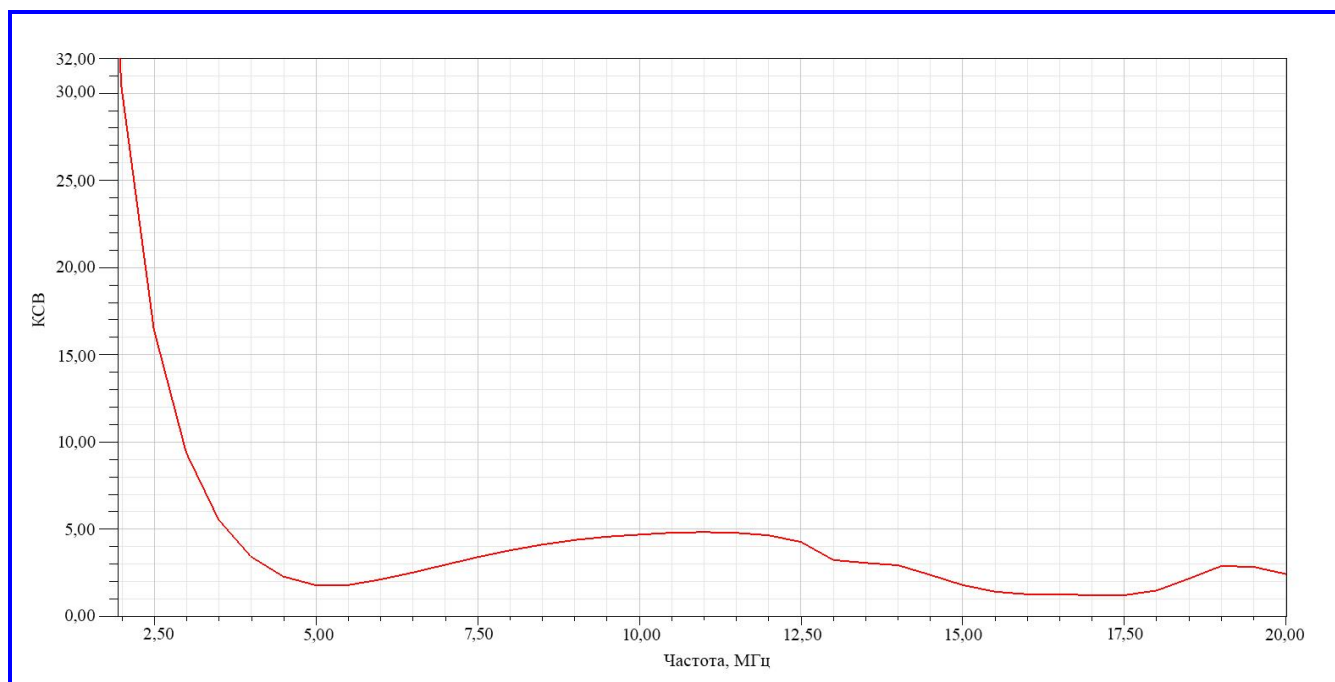


Рис. 7. Коэффициент стоячей волны передающей антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ с учетом влияния конструкции космического аппарата

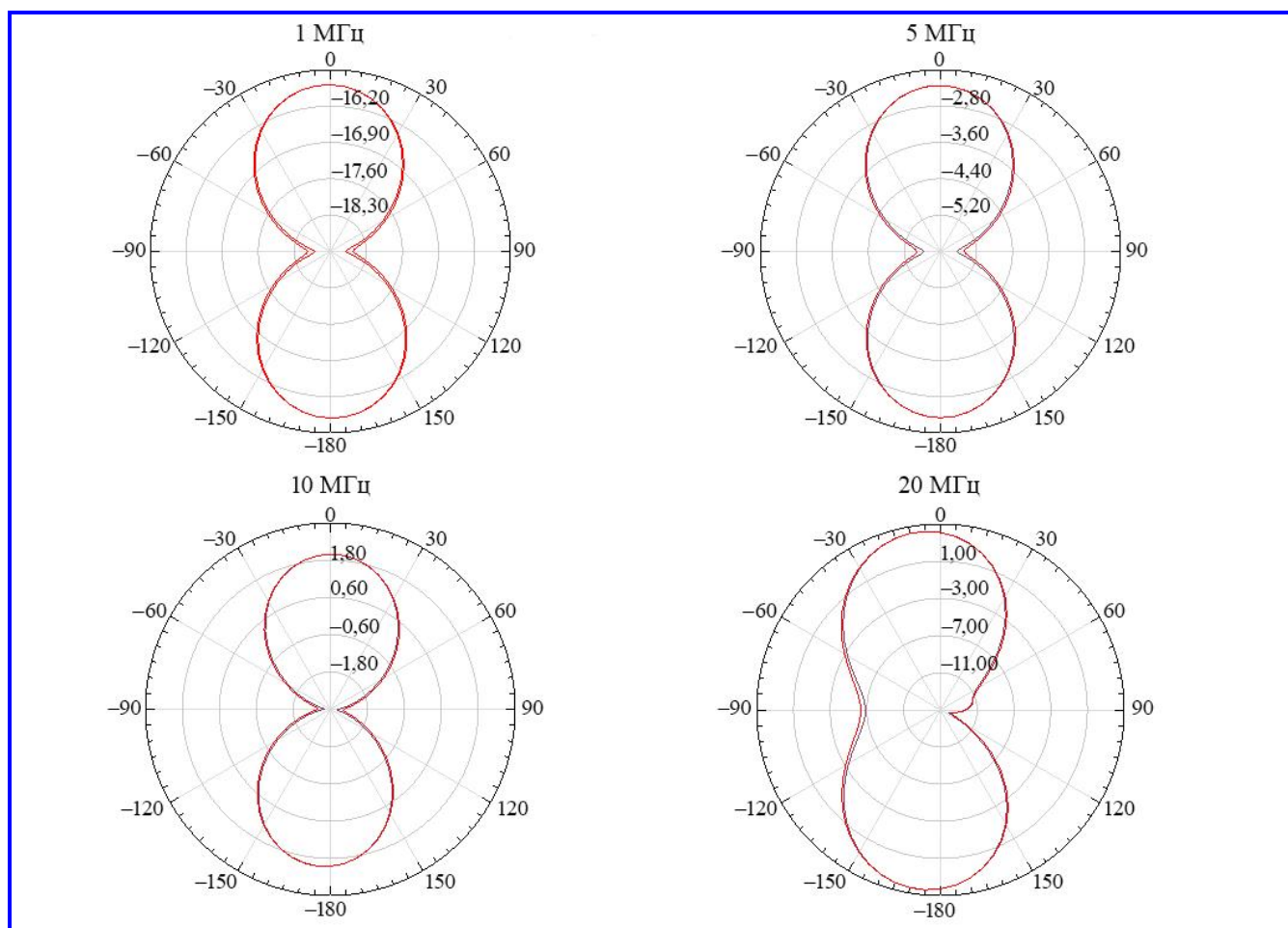


Рис. 8. Ненормированные диаграммы направленности приемной антенны антенно-фидерного устройства ЛАЭРТ с учетом влияния конструкции космического аппарата на частотах 1 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 20 МГц

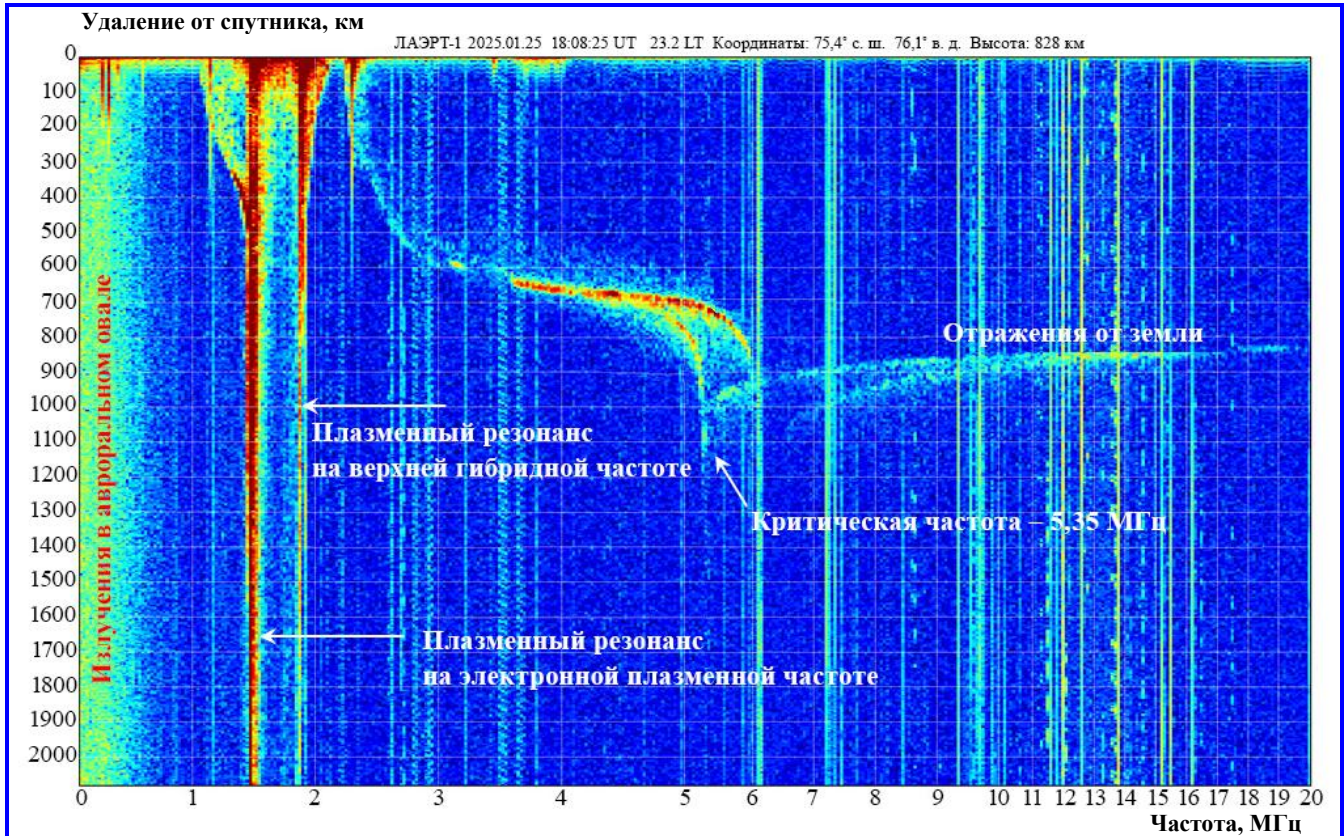


Рис. 9. Ионограмма, переданная с космического аппарата «Ионосфера-М» № 1

Заключение

В статье приведены результаты анализа электродинамического моделирования приемной и передающей антенн АФУ ЛАЭРТ как в свободном пространстве, так и с учетом влияния на них конструкции КА «Ионосфера-М» в рабочем положении. Результаты анализа показывают, что конструкция КА не оказывает существенного влияния на электрические характеристики АФУ ЛАЭРТ, что подтверждает правильность выбора его антенных характеристик. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что приемная и передающие антенны выполняют свою целевую задачу в составе бортовой аппаратуры ЛАЭРТ.

Литература

- Пулинец, С. А. Градусник космической погоды. Российские спутники возобновляют изучение ионосферы / С. А. Пулинец, О. В. Закутняя // Русский космос. – 2022. – № 42. – С. 40–43.
- Патент на изобретение № 148185 Российская Федерация. Телескопическая антенна космического аппарата (варианты) : заявл. 31.07.2014 ; опубл. 27.11.2014 / В. Я. Геча, З. Л. Винницкий, А. Б. Захаренко, Ю. Н. Свиридов, С. В. Чеботарёв, А. Ю. Федотов ; патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А. Г. Иосифьяна» (ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»). – Бюл. № 33. – 3 с.

Поступила в редакцию 31.01.2025

Андрей Борисович Захаренко, доктор технических наук, доцент, начальник отдела, т. 8 (495) 366-26-44, e-mail: otel18@mcc.vniiem.ru.

Александр Юрьевич Федотов, доктор технических наук, главный конструктор антенно-фидерных устройств космических аппаратов, т. 8 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru.

Павел Петрович Телепнев, доктор технических наук, начальник лаборатории, т. 8 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniiem.ru.

Нина Андреевна Белокурова, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела, т. 8 (495) 366-54-24, e-mail: lab183@mcc.vniiem.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

ANALYSIS OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF LAERT ANTENNA-FEEDER DEVICE FOR IONOSPHERE-M SPACECRAFTS

**A. B. Zakharenko, A. Yu. Fedotov,
P. P. Telepnev, N. A. Belokurova**

Monitoring of the Earth ionosphere is the actual for a wide range of business activity directions. Unfortunately, a lag time between orbit launches of satellite ionozondes is from several years up to decades of years. The Federal Space Program of Russian Federation includes the Ionozond-2025 project stipulating launch of the Ionosphere No.1 – 4 spacecrafts, two of which are passing flight tests. Primary mission equipment of the present spacecraft is the LAERT on-board ionozond and the LAERT antenna-feeder device. The present scientific work presents the comparison between electrical characteristics of LAERT antenna-feeder device without consideration of influence of Ionosphere-M spacecraft design and with consideration of influence of the design. It was obtained that the spacecraft design has no significant impact on electrical characteristics of the LAERT antenna-feeder device, the ionograms, transmitted from the spacecraft board, are suitable for further analysis.

Key words: antenna-feeder device, spacecraft, Earth ionosphere.

References

1. Pulitens, S. A. Regulator of space weather. Russian satellites resume the research of ionosphere / S. A. Pulitens, O. V. Zakutnyaya // Russian Space. – 2022. – № 42. – P. 40–43.
2. Patent for development No. 148185, Russian Federation. Telescoping antenna of spacecraft (variants) : appl. 31.07.2014: publ. 27.11.2014 / V. Ya Gecha, Z. L. Vinnitskiy, A. B. Zakharenko. Yu. N. Sviridov, S. V. Chebotarev, A. Yu. Fedotov; patent holder: Joint Stock Company 'Research and Production Corporation 'Space Monitoring Systems, Information & Control and Electromechanical Complexes' named after A. G. Iosifian' (VNIEM Corporation JSC). – Bull. № 33. – 3 p.

Andrey Borisovich Zakharenko, doctor of technical sciences (D. Sc.), associate professor, head of department,
t. 8 (495) 366-26-44, e-mail: otel18@mcc.vniem.ru.

Aleksandr Yur'evich Fedotov, doctor of technical sciences (D. Sc.), chief designer of spacecraft antenna-feeder devices,
t. 8 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniem.ru.

Pavel Petrovich Telepnev, doctor of technical sciences (D. Sc.), head of laboratory,
t. 8 (495) 366-27-55, e-mail: lab1811@mcc.vniem.ru.

Nina Andreevna Belokurova, candidate of technical sciences (Ph. D.), deputy head of department,
t. 8 (495) 366-54-24, e-mail: lab183@mcc.vniem.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).