

ВЫБОР ВЫСОТЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО НАТУРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С АНТЕННОЙ КОСМИЧЕСКОГО ИОНОЗОНДА

А.Б. Захаренко, А.Ю. Федотов, П.П. Телепнёв

Антенна космического ионозонда предназначена для сканирования ионосферы Земли, при этом антенна расположена на космическом аппарате на орбите Земли. Оптимизирована высота расположения экспериментальной установки для наземного эксперимента вибраторной передающей антенны космического ионозонда относительно поверхности Земли, исходя из минимизации двух критериев: влияния поверхности Земли; стоимости и габаритов опорной конструкции, необходимой для размещения антенны. Для этого рассмотрены две расчётные модели антенны: сложная (точная) и упрощённая (приближённая). Сложная применима для свободного пространства, упрощённая – для учёта влияния Земли на характеристики антенны из-за значительного возрастания объёма вычислений с использованием сложной модели. В результате проведённых расчётов получено, что при высоте расположения антенны 2,5 м над поверхностью Земли диаграммы направленности при различных частотах искажаются незначительно, КСВн также мало отличается от полученного в результате сложного моделирования в свободном пространстве. Таким образом, эта высота является минимально возможной.

Ключевые слова: вибраторная передающая антенна, диаграмма направленности, КСВн.

Введение. Для исследования ионосферы Земли разрабатывается космический аппарат (КА) «Ионосфера», основной целевой аппаратурой которого является космический ионозонд «ЛИАЭРТ», в состав которого входит вибраторная передающая антенна [1]. Антенна космического ионозонда предназначена для сканирования ионосферы Земли от верхних слоёв к нижним. Конструкция антенны является новой и защищена патентом [2]. Сканирование осуществляется в диапазоне частот $f = 0,1 - 20$ МГц с целью получения высотно-частотной характеристики – ионограммы.

Наземный натуральный эксперимент [3] проводится с целью проверки характеристик ионозонда совместно с антенной. При этом сканирование ионосферы осуществляется от нижних слоёв к верхним, аналогично наземным ионозондам. Так как антенна разрабатывалась для работы в космическом (свободном) пространстве, а диапазон рабочих частот достаточно низкий, на характеристики антенны будет существенно влиять расстояние до поверхности Земли. Целью статьи является учёт влияния поверхности Земли на основные характеристики антенны: диаграмму направленности и коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВн). На рис. 1 представлена схема расположения антенны космического ионозонда при наземном натурном эксперименте. Антенна ионозонда состоит из плеч передающих и приёмных антенн. Плечи передающих антенн имеют длину 15 м, а приёмных – 7,5 м. Опорная конструкция, необходимая для позиционирования антенны ионозонда, на рис. 1 не показана. Два плеча 1 передающей антенны и четыре плеча 3 приёмной антенны расположены в

плоскости, параллельной поверхности Земли, два плеча 2 передающей антенны расположены под углом 30° в вертикальной плоскости к плечам 1 передающей антенны. В качестве плеч антенн используются трубчатые углепластиковые плечи, металлизированные палладием, со стальной лентой внутри [1], при этом напряжение подаётся на телескопические секции и на ленту.

Задачей настоящей статьи является выбор высоты расположения антенны ионозонда h над поверхностью Земли, на которой будут минимальными:

- влияние поверхности Земли;
- габариты и стоимость опорной конструкции, необходимой для размещения антенны.

Расчёт стоимости опорной конструкции антенны в настоящей статье не приводится, однако её стоимость квадратично связана с высотой h . Следует также отметить, что увеличение упомянутой высоты неблагоприятно сказывается на безопасности монтажных работ.

Имитационное моделирование проводилось методом конечных элементов.

Поскольку оценка влияния поверхности Земли существенно усложняет расчётную модель, приводит к значительному повышению требований к рабочей станции и обуславливает значительные затраты времени на расчёт, были рассмотрены две модели антенны: «точная» (сложная) и приближённая (упрощённая).

При «точном» моделировании с использованием сложной расчётной модели передающая антенна представляла собой близкую к реальной углепластиковую конусную трубку, покрытую палладием, со стальной лентой внутри.

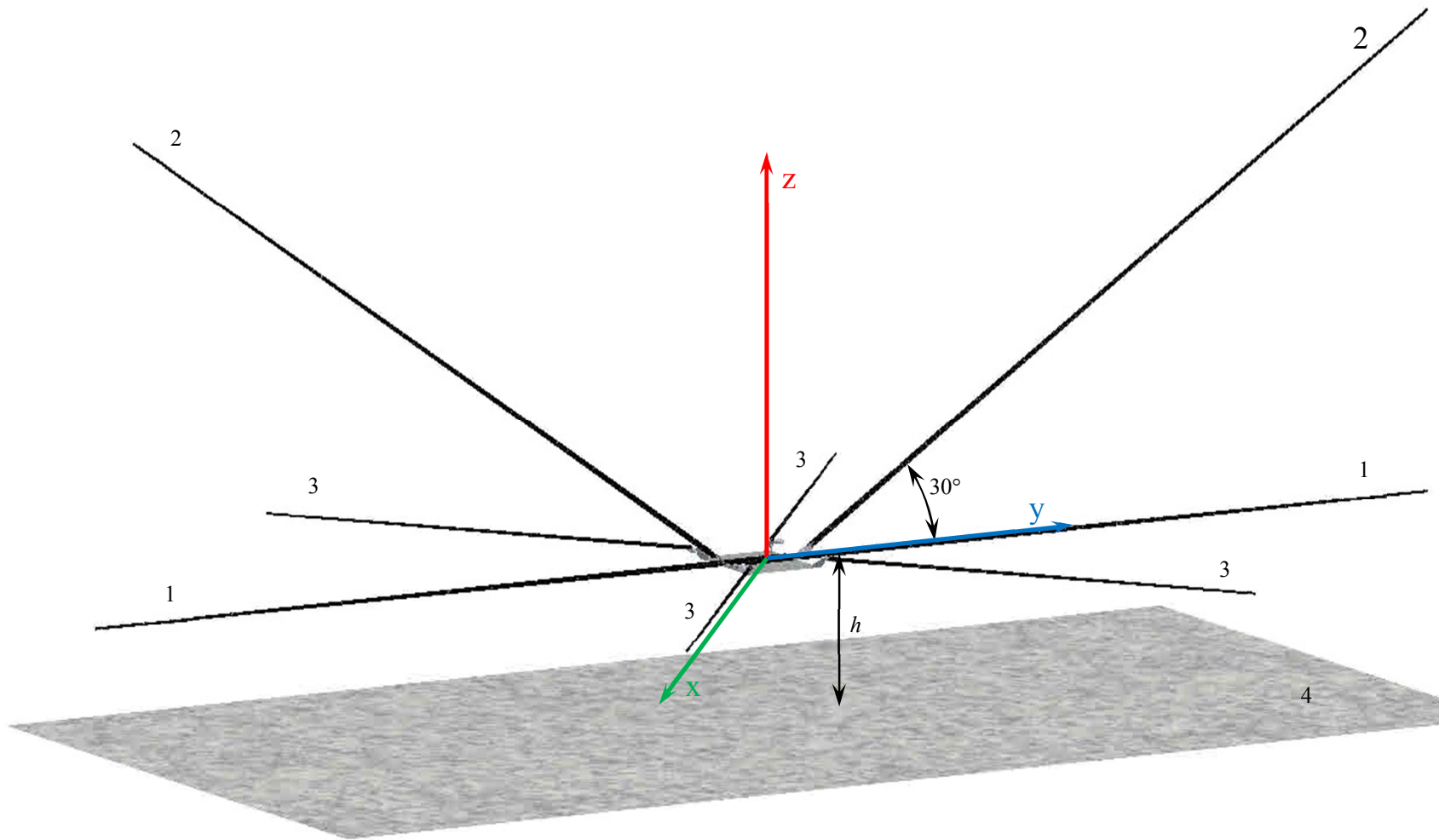


Рис. 1. Схема расположения антенны космического ионозонда при наземном натурном эксперименте: 1, 2 – плечи передающих антенн; 3 – плечи приёмных антенн; 4 – поверхность Земли

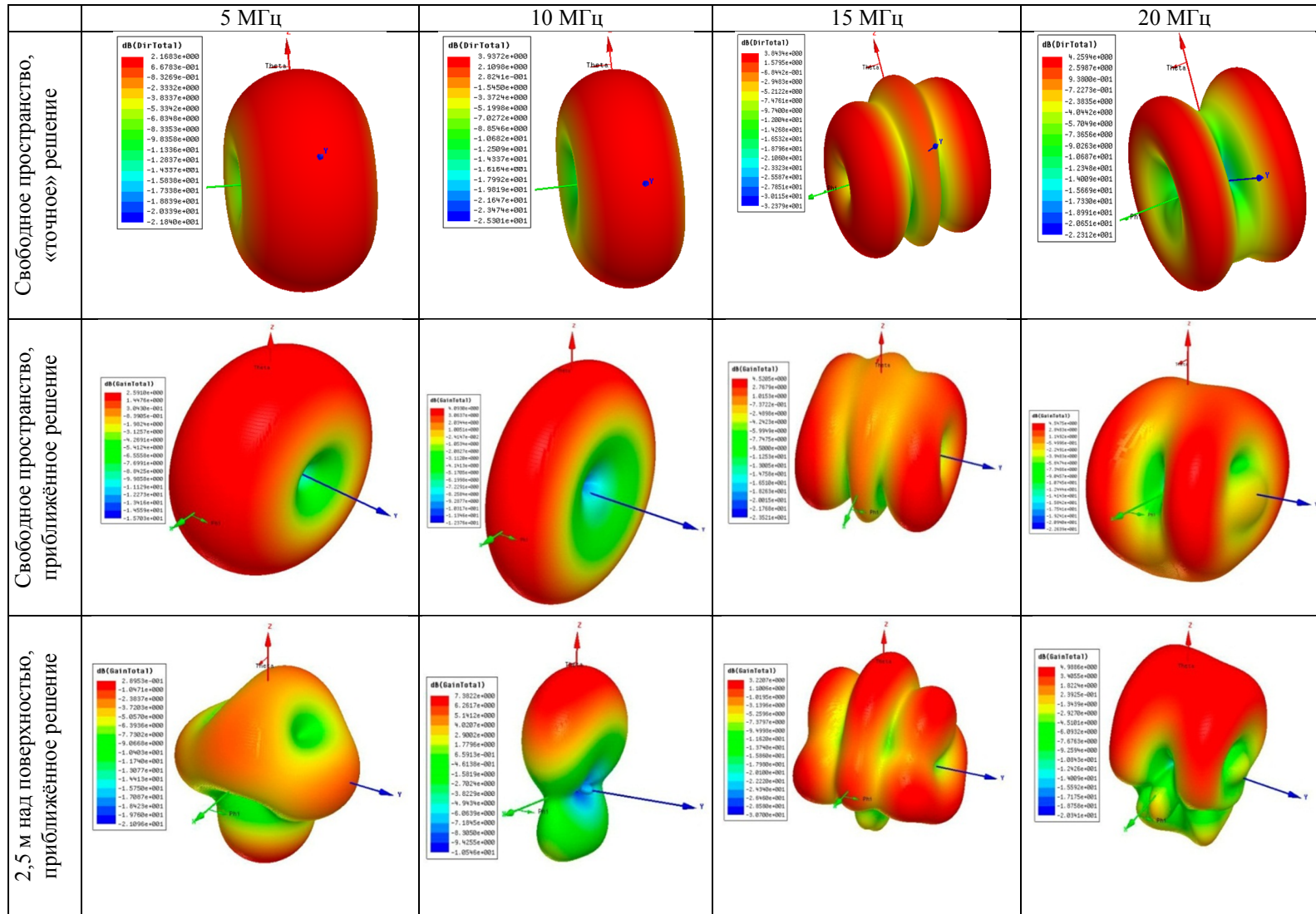


Рис. 2. Диаграммы направленности антенны космического ионозонда

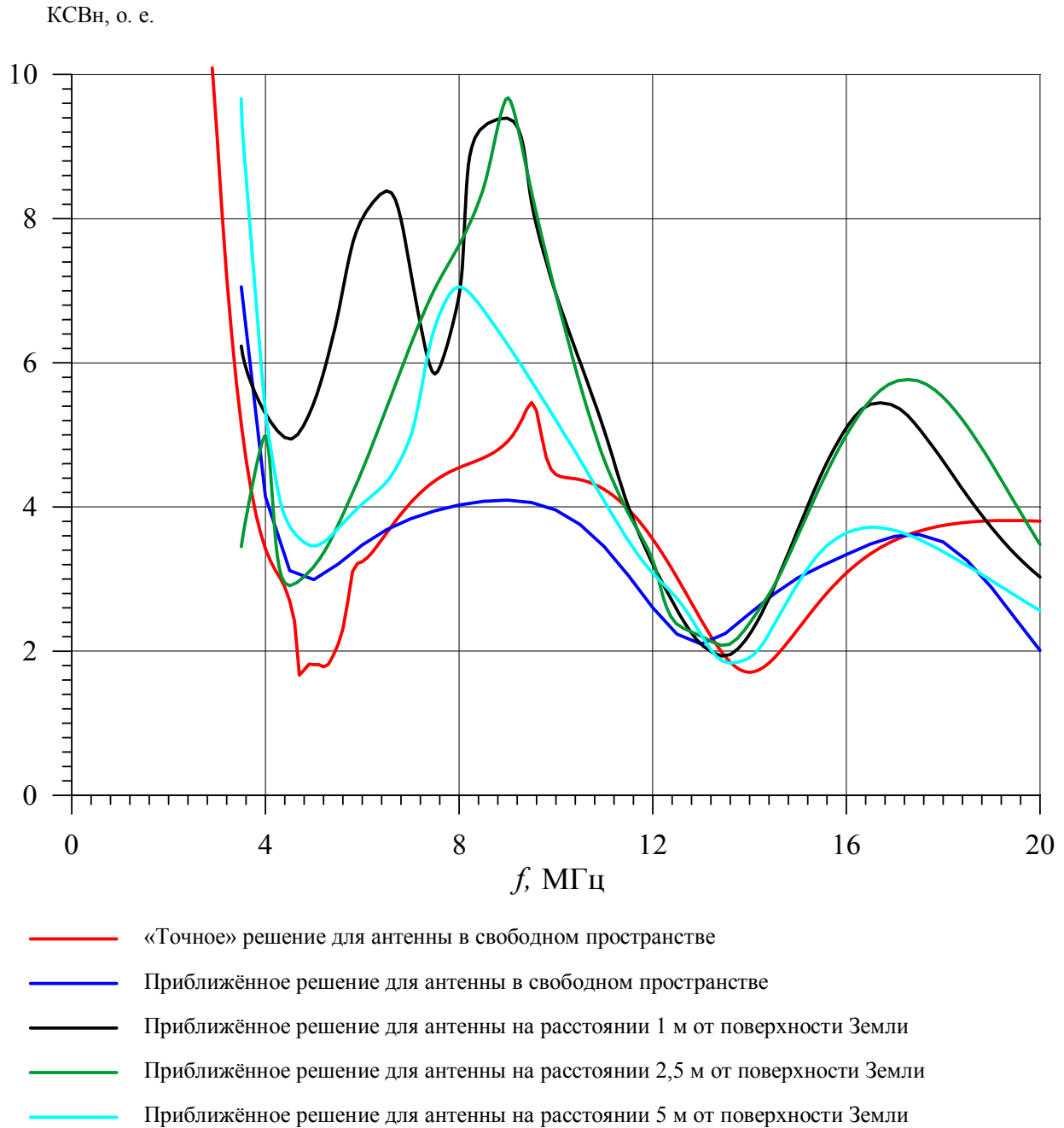


Рис. 3. КСВн при «точном» и приближённом моделировании передающей антенны в свободном пространстве и у поверхности Земли

Лента была принята в форме параллелепипеда, проходящего по оси трубки. Расчётная 3D-модель была подробно описана в [1]. Эта расчётная модель применена для анализа характеристик антенны в свободном пространстве.

При приближённом моделировании передающей антенны расчётная модель представляла собой сплошной металлический конус с сопротивлением на постоянном токе 16 Ом. Расчёт, как и в случае «точного» решения, проводился методом конечных

элементов. Упрощённая расчётная 3D-модель показана на рис. 1, она применялась для учёта влияния поверхности Земли на характеристики антенны.

Диаграммы направленности антенны космического ионозонда, полученные как результаты «точного» и приближённого решений, представлены на рис. 2. Следует отметить, что системы координат для «точного» и приближённых решений отличаются: оси X и Y поменялись местами. При этом видно, что диаграммы направленности для свободного

пространства при «точном» и приближённом решении отличаются друг от друга очень мало. Таким образом, принятое упрощение вполне допустимо.

Были рассчитаны диаграммы направленности, КСВн при упрощённом моделировании и расположении антенны космического ионозонда на различных высотах. Определена минимальная высота расположения антенны над поверхностью Земли 2,5 м, при которой характеристики незначительно отличаются от характеристик антенны в свободном пространстве.

На рис. 2 представлены диаграммы направленности при приближённом моделировании на высоте 2,5 м над поверхностью Земли. Их анализ показывает, что при таком расположении антенны диаграммы направленности искажаются незначительно по сравнению с расчётом той же антенны в свободном пространстве.

Зависимости КСВн при «точном» и приближённом моделировании для передающей антенны в свободном пространстве и у поверхности Земли от частоты представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что при увеличении высоты расположения экспериментальной установки антенны от поверхности Земли с 1 до 5 м зависимость КСВн приближённого решения стремится к «точному» решению. Однако при этом возрастают приведённые затраты на возведение и установку антенны. Оптимальным следует принять экспериментальную установку, позволяющую разместить антенну на высоте 2,5 м от поверхности Земли, позволяющей создать компактную, относительно недорогую опорную конструкцию антенны.

Поступила в редакцию 28.11.2016

Выводы

1. Наземный натурный эксперимент необходим с целью уточнения радиотехнических характеристик антенны космического ионозонда.

2. Поскольку поверхность Земли оказывает влияние на характеристики антенны ионозонда, важной задачей для натурального эксперимента является определение оптимальной высоты расположения антенны над поверхностью Земли.

3. При высоте расположения антенны 2,5 м над поверхностью Земли диаграммы направленности при различных частотах искажаются незначительно, КСВн также мало отличается от полученного в результате моделирования в свободном пространстве.

Литература

1. Захаренко А. Б., Федотов А. Ю., Морозов И. И., Чуянов Д. О. Выбор материала вибраторов антенны для космического ионозонда // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – Т. 154. – № 5. – С. 25 – 31.
2. Телескопическая антенна космического аппарата (варианты). Патент на полезную модель РФ № 148185 по заявке № 2014131643. Авторы: Геча В. Я., Захаренко А. Б., Федотов А. Ю. и др. Патентообладатель АО «Корпорация «ВНИИЭМ». МПК H01Q1/10. Оpubл. 27.11.2014. Бюлл. № 33.
3. Пулинец С. А., Макриденко Л. А., Волков С. Н., Захаренко А. Б., Федотов А. Ю., Данилов И. С. Функциональные испытания бортового ионозонда ЛАЭРТ для КА «Ионосфера» при наземной отработке: докл. // Труды XXIX Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред» / ВКА имени А. Ф. Можайского. – СПб., 2015. – С. 666 – 675.

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

*Александр Юрьевич Федотов, доктор технических наук, главный конструктор АФУ,
т. (495) 366-27-55, e-mail: vniiem@vniiem.ru.*

*Павел Петрович Теленёв, научный сотрудник,
т. (495) 366-27-55, e-mail: vniiem@vniiem.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

SELECTING POSITION HEIGHT of the EXPERIMENTAL ASSEMBLY INTENDED FOR a FULL-SCALE GROUND EXPERIMENTATION PERFORMED WITH ANTENNA of the SPACE IONOSPHERE

A.B. Zakharenko, A.Iu. Fedotov, P.P Telepnev

The antenna of space ionosphere is intended for Earth ionosphere scanning and it is located on the spacecraft orbiting the Earth. The height of the experimental assembly has been improved with reference to the Earth's surface, and the assembly is intended for the full-scale ground experimentation with the transmitting vibrator antenna of the space ionosphere. The optimization took place based on the following criteria: Earth surface impact; the costs and dimensional parameters of the supporting structure required for the antenna alignment. The following design models have been revised for these purposes: the simplified and complex model. The complex model can be applied for void space while the simplified model can be applied in situations when Earth impact on antenna parameters must be taken into account, as the application of complex model in that case will lead to a dramatic increase of the number of calculations. The calculations demonstrated that the pattern distortion of the direction diagram (at various frequencies) is insignificant at a height of 2,5 meters over the Earth's surface, the voltage standing-wave ratio also does not differ much from the results obtained during the complex modeling in the void space. Thus, that height is considered to be the lowest possible.

Key words: vibrator transmission antenna, directional diagram, voltage standing-wave ratio.

References

1. Zakharenko A. B., Fedotov A. Iu., Morozov I. I., Chuianov D. O. Selecting the material intended for the antenna vibrator of the space ionosphere // Electromechanical Matters. VNIEM Studies. – T. 154. – No. 5. – Pp. 25 – 31.
2. Spacecraft telescopic antenna (options): Utility model patent No. 148185 in the Russian Federation by request No. 2014131643 / Authors: Gecha V. Ia., Zakharenko A. B., Fedotov A. Iu. and others. Patentee: JC «VNIEM Corporation». IPC H01Q1/10. – Published on November 27, 2014. – Bulletin No. 33.
3. Pulinets S. A., Makridenko L. A., Volkov S. N., Zakharenko A. B., Fedotov A. Iu., Danilov I. S. Functional tests of onboard ionosphere LAERT for «Ionosphere» spacecraft during ground simulation: report. // Studies of the XXIX Russian National Symposium «Radar investigation of natural environment» / Mozhaisky Military Space Academy. – Saint Petersburg, 2015. – Pp. 666 – 675.

*Andrei Borisovich Zakharenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Head of the Department,
tel. (495) 366-26-44, e-mail: vniem@vniem.ru.*

*Aleksandr Iurevich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Designer of antenna-feeder device,
tel. (495) 366-27-55, e-mail: vniem@vniem.ru.*

*Pavel Petrovich Telepnev, Researcher,
tel. (495) 366-27-55, e-mail: vniem@vniem.ru.
(JC «VNIEM Corporation».)*