

КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 621.396.67

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ РЕФЛЕКТОРА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННО-ФИДЕРНОЙ СИСТЕМЫ

А. Б. Захаренко, А. Ю. Федотов, А. В. Шишлов,
Н. А. Белокурова, К. С. Осикова

Особенностью предлагаемой антенно-фидерной системы Ka-диапазона является наличие неподвижного тракта облучателя. Наведение на наземную радиостанцию осуществляется поворотом зеркал рефлектора и контррефлектора. Это позволяет обойтись без волноводных вращающихся сочленений, что значительно повышает надёжность и долговечность работы СВЧ-тракта. Важной задачей является учёт влияния теплового изменения длины узла крепления рефлектора на электрические характеристики направленной двухзеркальной антенны. На основе результатов расчётов электрических характеристик направленной двухзеркальной антенны, выполненных при различных расстояниях между рефлектором и контррефлектором было выявлено, что изменение расстояния от рефлектора до контррефлектора на величину не более 5 мм от номинального значения пренебрежимо мало влияет на электрические характеристики направленной двухзеркальной антенны. Поэтому в качестве материала узла крепления рефлектора антенно-фидерной системы выбран технологичный и дешёвый алюминиевый сплав.
Ключевые слова: антенно-фидерная система, рефлектор, контррефлектор, двухзеркальная антенна, диаграмма, космический аппарат.

Антенно-фидерная система (АФС) БИС-СМ планируется к эксплуатации в составе высокоскоростной радиолинии перспективного космического аппарата (КА), диапазон её рабочих частот от 25,5 до 27 ГГц (Ka-диапазон). В состав АФС входят: направленная двухзеркальная антенна (НДА) и электропривод. Антенна выполнена по двухзеркальной схеме лучеводного типа, принцип работы описан в патенте на изобретение [1].

Объектом исследования является АФС БИС-СМ. Предметом исследования является направленная двухзеркальная антенна. Целью исследования является учёт влияния теплового изменения длины узла крепления рефлектора электропривода АФС БИС-СМ на диаграмму направленности (ДН) и коэффициент усиления (КУ) направленной двухзеркальной антенны. Задачей исследования является выбор материала узла крепления рефлектора АФС БИС-СМ.

Ближайшим аналогом АФС БИС-СМ является АФС Ka-диапазона фирмы Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL, Великобритания) (рис. 1) [2]. АФС SSTL обладает следующими основными характеристиками: коэффициент усиления 30 дБ, масса 5 кг.

АФС БИС-СМ при коэффициенте усиления не менее 33 дБ имеет массу (без учёта блока управления электроприводом) 5,4 кг. Основным достоинством отечественной схемы является наличие неподвижного тракта облучателя, к которому подводится СВЧ-энергия. Это позволяет обойтись без волноводных вращающихся сочленений, что значительно повышает надёжность и долговечность работы СВЧ-тракта.

Расчёт теплового изменения длины узла крепления рефлектора

Общий вид электротехнического макета АФС БИС-СМ представлен на рис. 2. АФС БИС-СМ представляет собой конструкцию с двумя электроприводами (позиции 2 и 4). Азимутальный электропривод (позиция 4) АФС через вал и ведущую шестерню вращает колесо 5, жёстко связанное с опорами зеркал рефлектора 1 и контррефлектора 6.

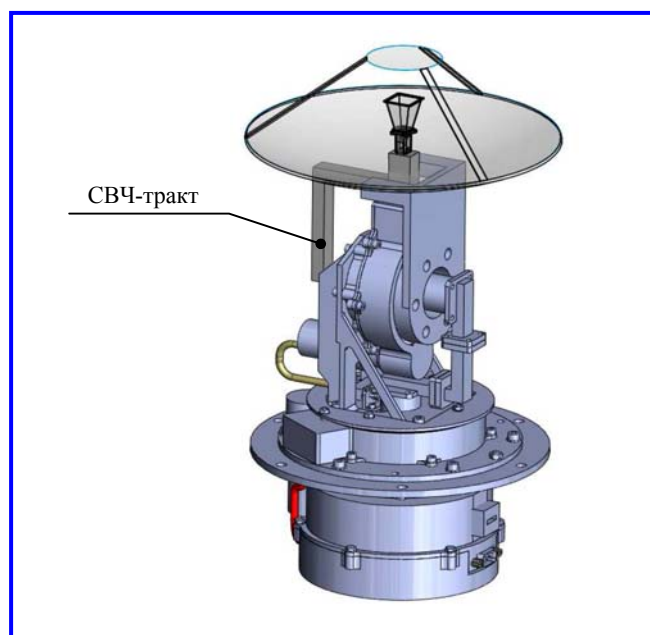


Рис. 1. Общий вид антенно-фидерной системы Ka-диапазона фирмы SSTL (Великобритания)

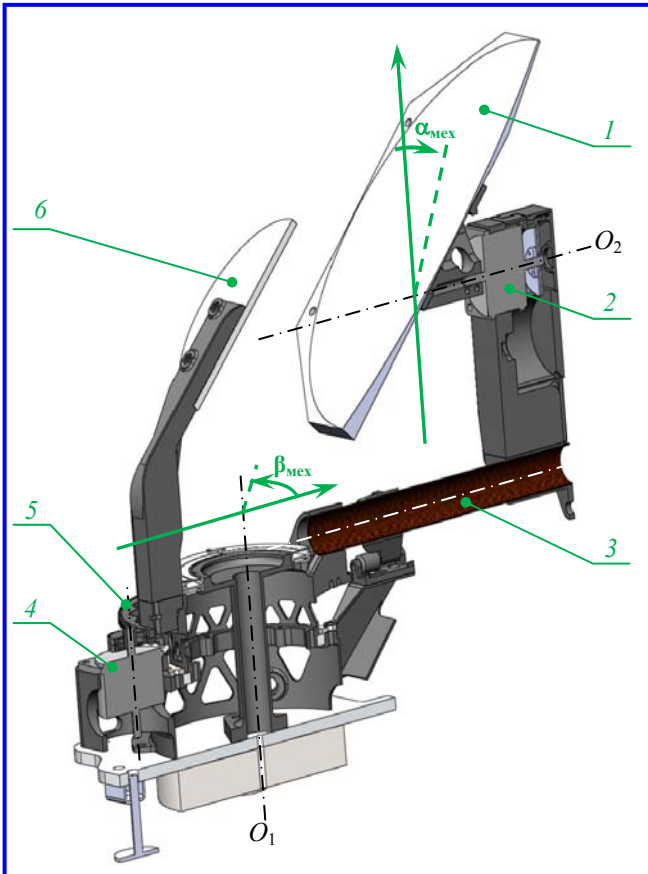


Рис. 2. Общий вид АФС БИС-СМ: 1 – рефлектор; 2 – электропривод рефлектора (поворот по углу места); 3 – узел крепления рефлектора; 4 – азимутальный электропривод; 5 – зубчатая передача; 6 – контррефлектор; O_1 – ось вращения двух зеркал по углу азимута; O_2 – ось вращения рефлектора по углу места; $\alpha_{\text{мех}}$ и $\beta_{\text{мех}}$ – углы поворота места и азимута

Таким образом осуществляется вращение конструкции АФС вокруг оси O_1 . Электропривод поворота по углу места вращает только зеркало

рефлектора 1. При вращении этого электропривода меняется угол места $\alpha_{\text{мех}}$, а предыдущего – угол азимута $\beta_{\text{мех}}$. Положение углов показано на рис. 1. Важным вопросом является выбор материала узла крепления рефлектора 3 таким образом, чтобы обеспечить:

- необходимое для сохранения диаграммы направленности и коэффициента усиления расстояние между рефлектором и контррефлектором;
- необходимый теплоотвод от узла рефлектора.

Для расчёта теплового изменения длины узла крепления выберем максимально жёсткий рабочий температурный диапазон для узла крепления рефлектора исходя из результатов, полученных в [3]: от минус 80 °С до плюс 80 °С.

Линейное тепловое расширение материала рассчитывается по формуле [3]:

$$\Delta L = L \cdot \Delta T \cdot \alpha_t, \quad (1)$$

где L – расстояние между рефлектором и контррефлектором; α_t – коэффициент теплового расширения материала узла крепления рефлектора.

Расстояние между рефлектором и контррефлектором L составляет 199,9 мм при 20 °С. В качестве материалов узла крепления рефлектора могут быть выбраны следующие материалы: инвар, углепластик, АМгб.

Значения изменений расстояния между рефлектором и контррефлектором при различных материалах узла крепления рефлектора в выбранном интервале температур приведены в табл. [4].

Значения изменений расстояния между рефлектором и контррефлектором при различных материалах узла крепления рефлектора в выбранном интервале температур приведены ниже.

Материал	Расчётный интервал температур, °С	Коэффициент теплового расширения, $\alpha_t, 10^{-6} \text{K}^{-1}$	Коэффициент теплопроводности, $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	Изменение расстояния между рефлектором и контррефлектором, мм
Железо-никелевый сплав Инвар 36Н	– 80 ÷ 80	1,5	11	±0,03
Высокопрочное карбонизированное углеродное волокно	– 80 ÷ 80	0,12	0,9	±0,002
Высокопрочное графитированное углеродное волокно	– 80 ÷ 80	0,08	0,75	±0,0016
Алюминиевый сплав АМгб	– 80 ÷ 20	18,9	102	±0,4
	20 ÷ 80	23,9	106	

Таким образом, изменение длины узла крепления из сплава АМг6 составит $\pm 0,4$ мм. Исходя из вышеприведённых расчётов, в качестве материала узла крепления рефлектора нет необходимости выбирать материал с низким коэффициентом теплового расширения. Возможно упрощение и удешевление конструкции узла крепления рефлектора путём выбора алюминиевого сплава АМг6 в качестве этого материала. Кроме того, у этого сплава высокий коэффициент теплопроводности, поэтому для снятия тепла с узла рефлектора не придётся специально создавать тепловой шунт.

Расчёт электрических характеристик НДА при различных расстояниях между рефлектором и контррефлектором

Расчёты антенны проводились методами электродинамического моделирования. На рис. 3 показан теоретический чертёж направленной двухзеркальной антенны. Рассмотрим, как меняются характеристики антенны при смещении рефлектора по оси OX , где ось OX – ось вращения рефлектора соответствует оси O_2 на рис. 2.

На рис. 4 и 5 показаны азимутальные и угломестные диаграммы направленности (ДН) направленной двухзеркальной антенны для разных значений расстояния Δ , полученных вследствие тепло-

вого расширения (сужения). При этом угол поворота рефлектора принят равным 0° .

На рис. 6 и 7 показаны азимутальные и угломестные ДН антенны для разных значений Δ , угол поворота рефлектора принят равным 105° .

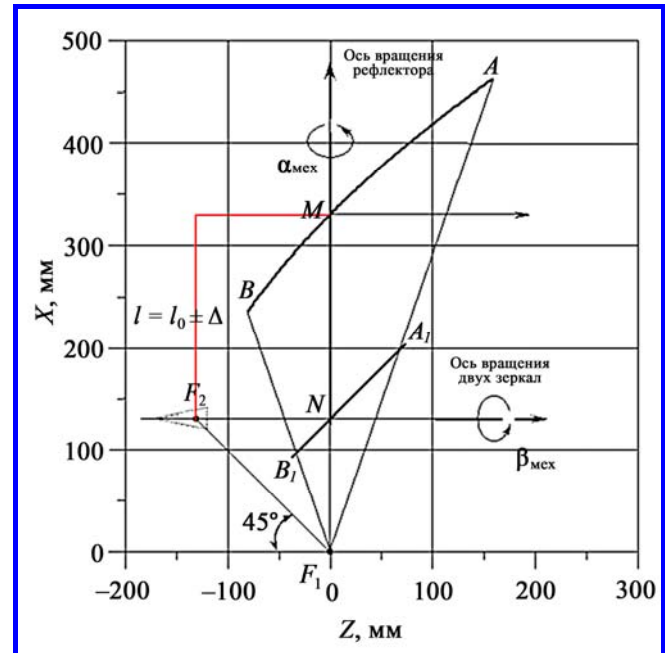


Рис. 3. Теоретический чертёж НДА

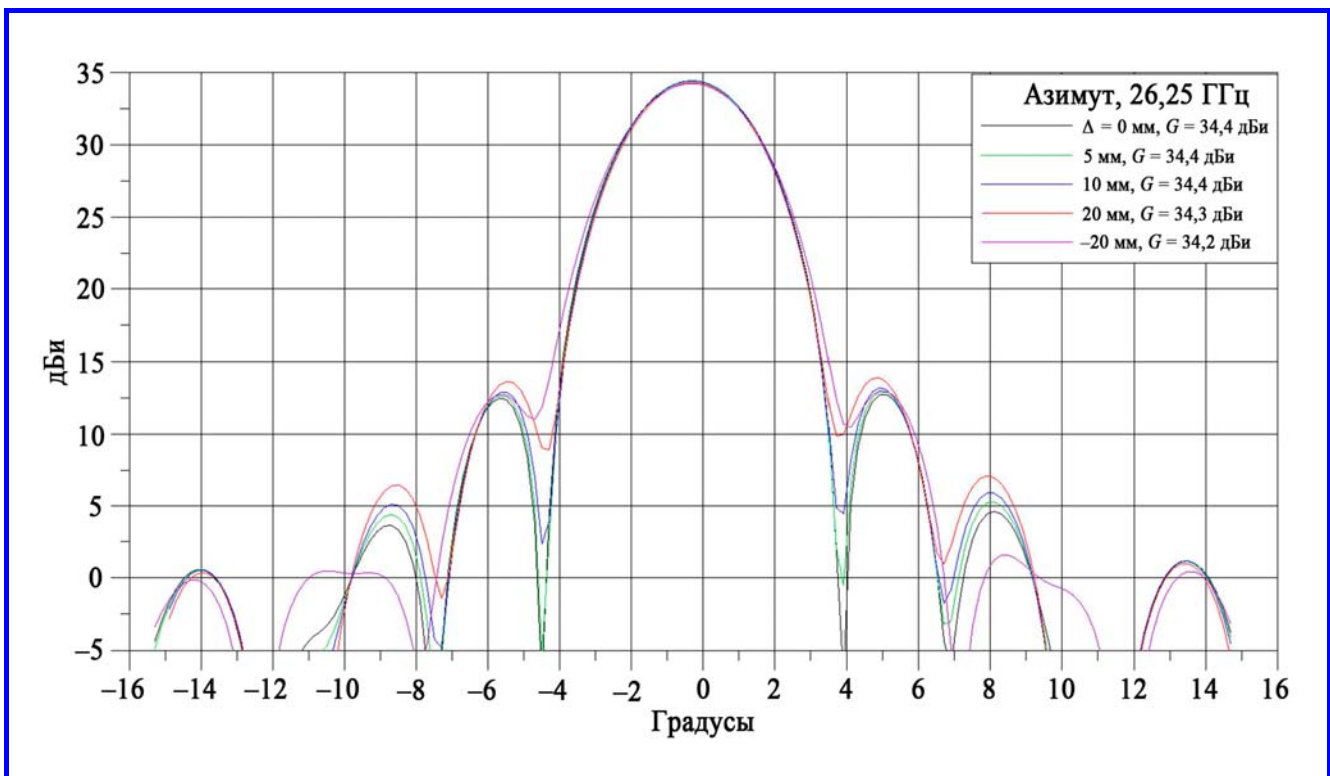


Рис. 4. Азимутальные ДН, поворот рефлектора 0°

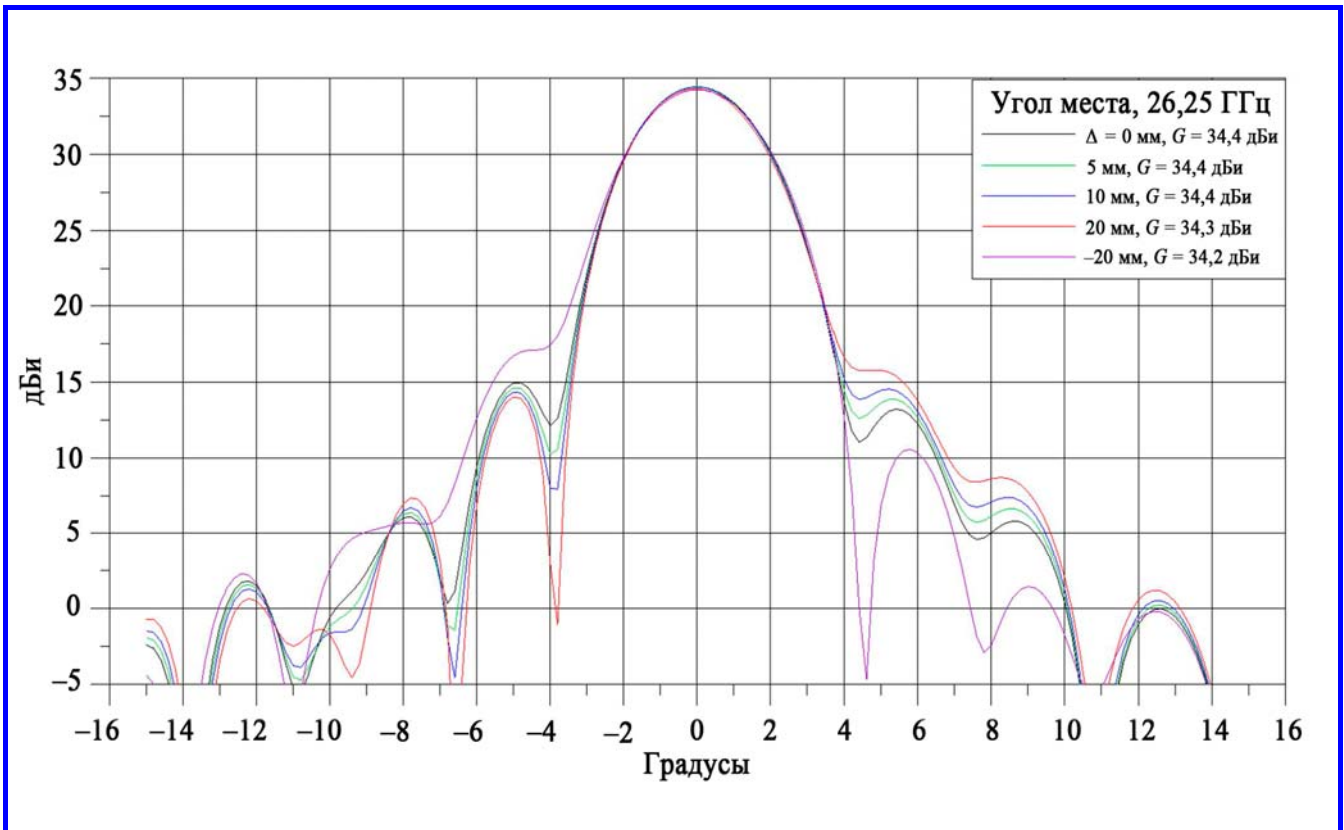


Рис. 5. Угломестные ДН, поворот рефлектора 0°

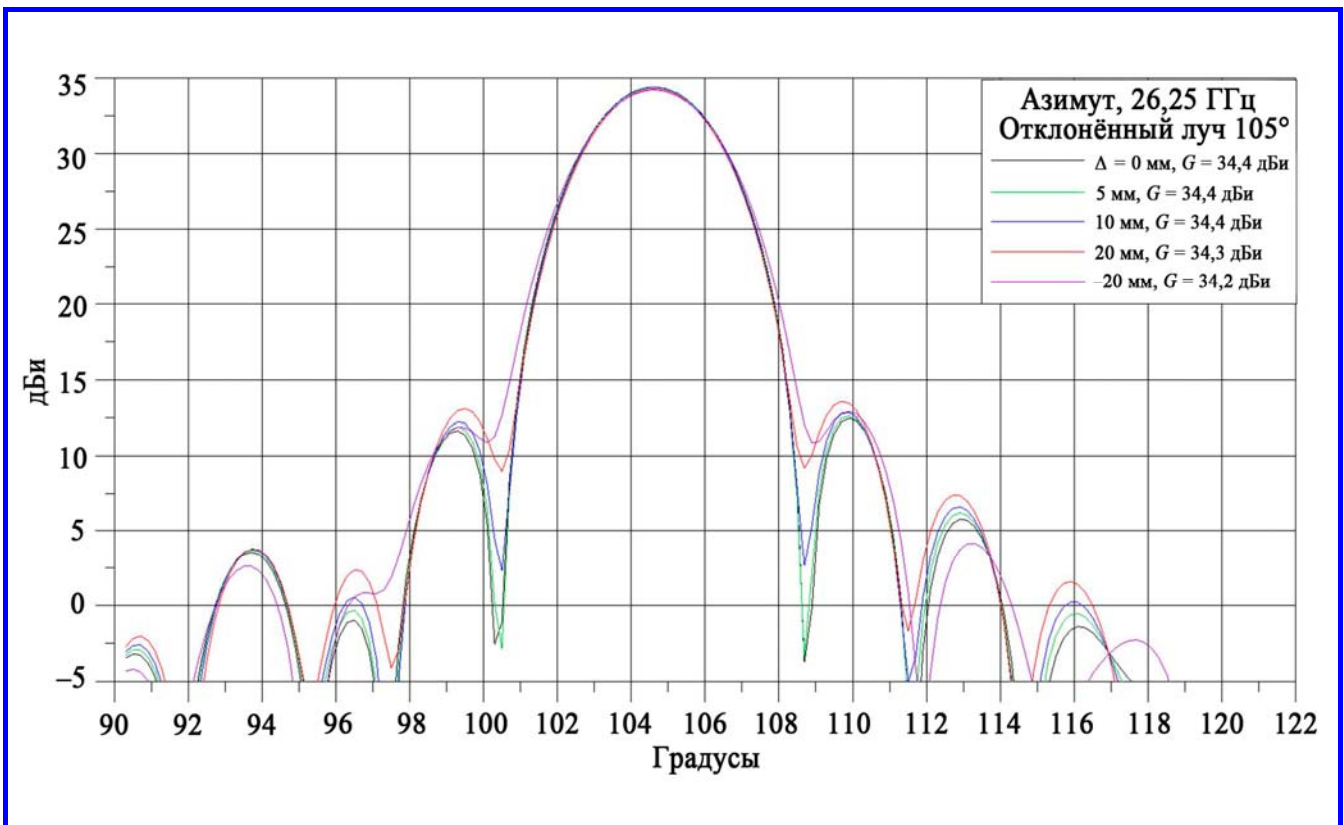
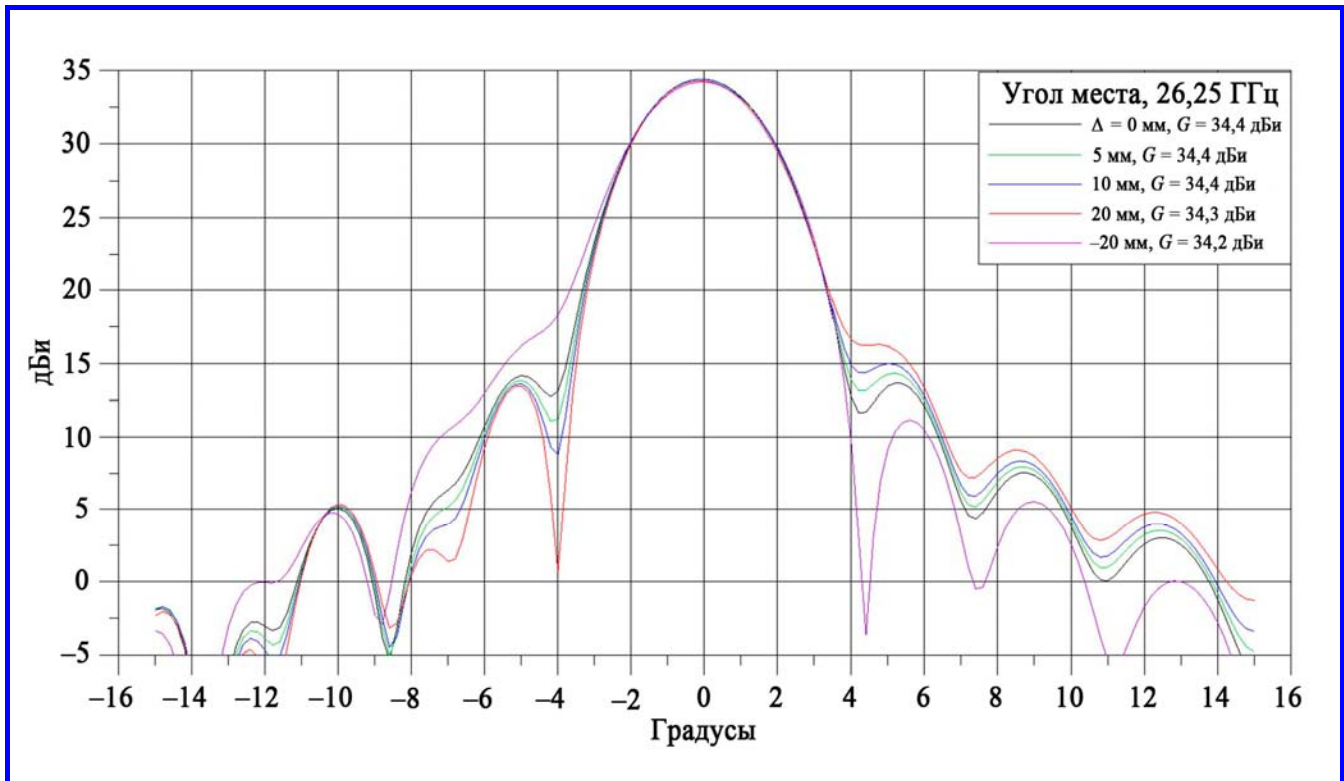


Рис. 6. Азимутальные ДН, поворот рефлектора 105°

Рис. 7. Угломестные ДН, поворот рефлектора 105°

Рассматриваются значения $\Delta = 5, 10, \pm 20$ мм. Из графиков следует, что $\Delta = 5$ мм приводит к изменению КУ в сотых долях, уровень первого бокового лепестка азимутальных ДН (0° и 105°) меняется на 0,3 дБ. Для угломестных ДН это 0,8 дБ и 0,6 дБ (0° и 105°), а ширина ДН по уровню «-3дБ» не изменяется.

Из приведённых расчётов можно сделать следующий вывод. Смещение рефлектора на величину не более 5 мм от номинального расстояния пренебрежимо мало влияет на характеристики антенно-фидерной системы. Учитывая, что тепловое изменение длины всех перечисленных в табл. материалов не превышает 5 мм, в качестве материала узла крепления рефлектора АФС БИС-СМ выбран алюминиевый сплав АМг6, который обеспечивает наилучший коэффициент теплопроводности и упрощает конструкцию АФС за счёт отсутствия необходимости в дополнительном тепловом шунте между узлом рефлектора и основанием АФС.

Заключение

Основным достоинством схемы АФС БИС-СМ при сравнении с ближайшим аналогом является наличие неподвижного тракта облучателя, к которому подводится СВЧ-энергия. Это позво-

ляет обойтись без вращающихся сочленений, что значительно повышает надёжность и долговечность работы СВЧ-тракта.

Изменение расстояния от рефлектора до контр-рефлектора на величину не более 5 мм от номинального значения пренебрежимо мало влияет на электрические характеристики направленной двухзеркальной антенны.

В качестве материала узла крепления рефлектора АФС БИС-СМ выбран алюминиевый сплав АМг6.

Литература

1. Патент на изобретение РФ № 2665495 по заявке № 2017136068. Двухзеркальная антенна с механическим нацеливанием. – Патентообладатель Российская Федерация, от имени которой выступает Госкорпорация «Роскосмос». – Авторы: А. Б. Захаренко, А. А. Дульцев, С. В. Чеботарёв, А. Ю. Федотов, А. В. Шишлов, В. Я. Геча. – Опубликовано 30.08.2018. – бюллетень № 25. – 11 с.
2. Antenna Pointing Mechanism Sales Brochure. – URL : <http://www.sstl.co.uk/Products/Subsystems/Brochures>, 2013 – 22 с.
3. Космический аппарат «Метеор-М» № 3. Предварительный тепловой расчёт конструкции антенно-фидерной системы №1 БИС-СМ / В. Я. Геча, А. Б. Захаренко, Е. А. Канунникова и др. – Технический отчет. АБ.18.06.15.205. 2015 г.

4. Физические величины: Справочник / А. П. Баби́чев, И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др. / Под. ред.

Поступила в редакцию 17.04.2018

*Андрей Борисович Захаренко, доктор технических наук, начальник отдела, доцент, т. (495) 366-26-44.
Александр Юрьевич Федотов, доктор технических наук, главный конструктор АФУ, т. (495) 366-27-55.
E-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.*

Александр Васильевич Шишлов, начальник отдела ПАО «Радиофизика», кандидат технических наук, профессор, т. (495) 495-35-19, e-mail: shishlov54@mail.ru.

Нина Андреевна Белокурова, инженер-конструктор II категории, т. (495) 366-54-24.

Кристина Сергеевна Осикова, инженер, т. (495) 366-54-24.

*E-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

EVALUATION OF INFLUENCE OF THERMAL EXPANSION OF REFLECTOR ATTACHMENT FITTING ON ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF ANTENNA-FEEDER SYSTEM

**A. B. Zakharenko, A.I u. Fedotov, A. V. Shishlov,
N. A. Belokurova, K. S. Osikova**

A particular feature of suggested antenna-feeder device operating in Ka-band is a fixed-path reflector. The pointing to a ground radio station is performed by turning the reflector and subreflector mirrors. This enables to not use waveguide rotary joints, which considerably increases the reliability and lifetime of the microwave path. The account of influence of thermal variation of reflector attachment fitting length on electrical characteristics of a directional dual-reflector antenna is an important task. Based on the results of calculations of electrical characteristics of a directional dual-reflector antenna performed at different distances between the reflector and subreflector, it has been discovered that the change of distance between the reflector and subreflector of up to 5mm from the nominal value has a negligibly small influence on electrical characteristics of the directional dual-reflector antenna. Therefore, an easily producible and cheap aluminum alloy has been chosen as a material for the antenna-feeder system reflector attachment fitting.

Key words: antenna-feeder system, reflector, subreflector, dual-reflector antenna, pattern, spacecraft.

References

1. RF patent of invention No. 2665495 on application No. 2017136068. Dual-reflector antenna with mechanical pointing. – Patent holder: the Russian Federation on behalf of which the Roscosmos State Corporation acts. – Authors: A. B. Zakharenko, A. A. Dultsev, S. V. Chebotarev, A. Iu. Fedotov, A. V. Shishlov, V. Ia. Gecha. – Published on 30.08.2018. – bulletin No. 25. – 11 p.
2. Antenna Pointing Mechanism Sales Brochure. – URL : <http://www.sstl.co.uk/Products/Subsystems/Brochures>, 2013 – 22 p.
3. Meteor-M No. 3. Preliminary thermal calculation of design of antenna-feeder system No. 1 BIS-SM / V. Ia. Gecha, A. B. Zakharenko, E. A. Kanunnikova at al. – Technical report. АБ.18.06.15.205. 2015.
4. Physical magnitudes: Handbook / A. P. Babichev, N. A. Babushkina, A. M. Bratkovskii et al. / Edited by I. S. Grigorev, E. Z. Meilikhov. – М. : Energoatomizdat Publishing House, 1991. – 1232 p.

*Andrei Borisovich Zakharenko, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Head of Department, Associate Professor,
tel.: +7 (495) 366-26-44.*

*Aleksandr Iurevich Fedotov, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Chief Designer of Antenna-feeder Devices,
tel.: +7 (495) 366-27-55.*

E-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.

*Aleksandr Vasilevich Shishlov, Head of Department, JSC «Radiofizika», Candidate of Technical Sciences (Ph.D.),
Professor, tel.: +7 (495) 495-35-19, e-mail: shishlov54@mail.ru.*

Nina Andreevna Belokurova, IInd Category Design Engineer, tel.: +7 (495) 366-54-24.

Kristina Sergeevna Osikova, Engineer, tel.: +7 (495) 366-54-24.

*E-mail: otdel18@mcc.vniiem.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).*