

ПРИМЕНЕНИЕ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ В КАЧЕСТВЕ БОРТОВОЙ АНТЕННЫ РАДИОЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е. В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева,
П. А. Шмачилин, Нгуен Динь То,
А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев,
М. Р. Салихов

В настоящее время остро возникает вопрос по разработке и внедрению высокоскоростных и сверхвысокоскоростных линий передачи информации. Показаны состояние и перспективы развития данной системы. Работа посвящена поиску путей построения бортового антенно-фидерного устройства для радиолинии передачи целевой информации. Предложен вариант применения рупорной антенны в качестве бортовой для радиолинии передачи информации. Основные типы рупоров образуются в результате расширения прямоугольного или круглого волновода. Они могут применяться как самостоятельно, так и в качестве элементов более сложных антенн. Рупорные антенны нашли широкое применение в наземных и бортовых телекоммуникационных системах. Благодаря конструктивной простоте и технологичности такие антенны обладают хорошими техническими характеристиками, высокой надёжностью и хорошей применимостью в условиях космического пространства.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая антенна, рупорная антенна, полосковый рупор, многослойная печатная технология, рупорная антенная решётка, радиолиния передачи целевой информации, коэффициент стоячей волны, диаграмма направленности, коэффициент усиления.

Введение

С ростом объёма решаемых задач с помощью космических технологий произошло изменение требований к радиолинии передачи целевой информации (РЛЦИ) космических аппаратов (КА). Данное изменение заключается в резком увеличении требуемой скорости передачи данных с борта КА на наземные пункты приёма информации. В свою очередь определённые ограничения вызваны достаточно коротким временем сеанса связи КА с

пунктами приёма (около 15 мин), а также ограниченным количеством самих пунктов приёма, что наглядно показано на рис. 1 [1].

Из представленных данных видно, что существуют три пункта приёма на территории Российской Федерации, позволяющие осуществлять уверенный приём данных (с требуемой вероятностью ошибки) [1].

Анализ текущего состояния выявил потребность в построении высокоскоростных радиолиний [2].

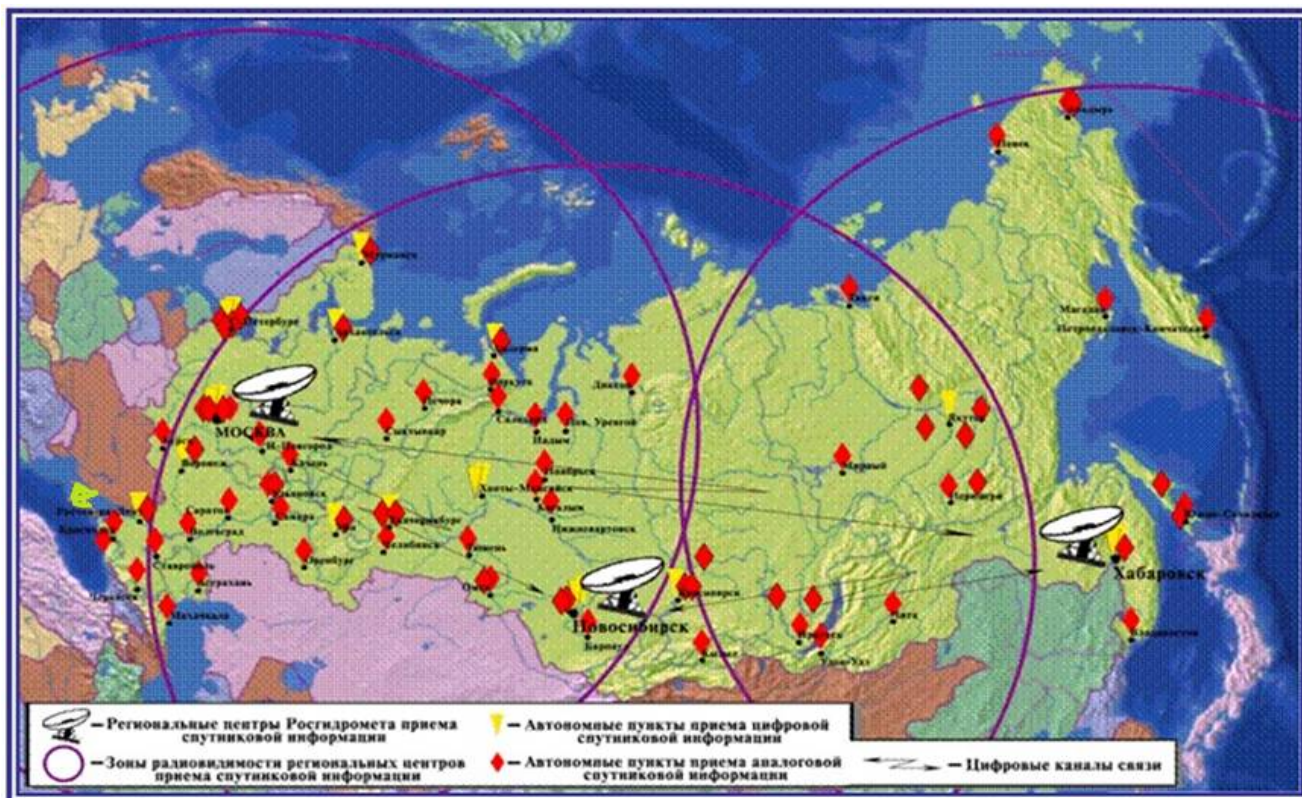


Рис. 1. Наземные пункты приёма информации на территории Российской Федерации

Для решения поставленной задачи предложены различные варианты, например, способы повышения пропускной способности радиолинии [3]:

- применение многоуровневой модуляции и высокоэффективного помехоустойчивого кодирования;
- обеспечение режима адаптивной модуляции и кодирования;
- сжатие заголовков пакетов сетевого и транспортного уровней;
- совмещение используемых частотных диапазонов;
- мультипротокольная инкапсуляция.

Целью данной работы является увеличение объёма передаваемой информации с КА на наземные пункты связи с помощью применения другого типа

бортовой антенны по сравнению с эксплуатируемыми аналогами.

В настоящее время нашли применение зеркальные антенны со специальной диаграммой направленности (ДН) в качестве бортовых антенно-фидерных устройств (АФУ) РЛЦИ, которые показаны на рис. 2 [4 – 7].

Основные параметры сведены в таблице.

Как уже было отмечено выше, в настоящий момент перед РЛЦИ ставится задача по увеличению скорости передаваемой информации. Таким образом, речь идёт о построении высокоскоростной и сверхвысокоскоростной линий передачи.

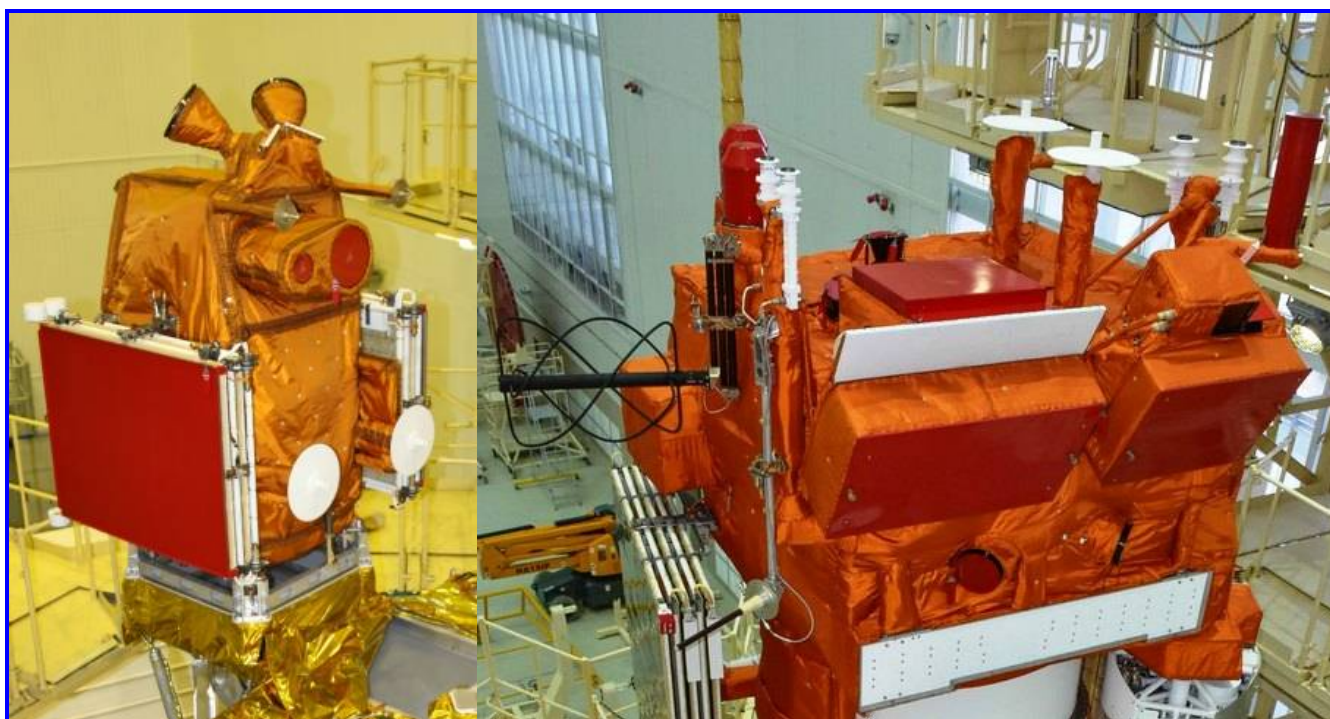


Рис. 2. Фото отечественных КА: а – КА «Канопус-В» № 1; б – КА «Метеор-М» № 2-1

Таблица

Параметры РЛЦИ КА «Канопус-В» № 1

Несущая частота канала:	
– ПРД1	8128 МГц
– ПРД2	8320 МГц
Скорость передачи в канале:	
– ПРД1	61,44 Мбит/с
– ПРД2	122,88 Мбит/с
Виды модуляции:	
– ПРД1	Относительная фазовая
– ПРД2	Двойная относительная фазовая
Потребляемая мощность:	
– при работе ПРД1 и ПРД2	240 Вт
– при работе ПРД1 или ПРД2	130 Вт
– в дежурном режиме – готовность к сбросу (в течение 8 мин)	Не более 20 Вт
Масса	33 кг

Для обеспечения функционирования аппаратуры РЛЦИ используются следующие диапазоны частот:

- 137 ... 138 МГц;
- 1670 ... 1710 МГц;
- 8025 ... 8400 МГц.

Поэтому целесообразным является применения сантиметрового диапазона (8025 ... 8400 МГц) для построения перспективных высокоскоростных линий передачи, а для сверхскоростных линий передачи имеет смысл применения диапазона частот 25500 ... 27000 МГц [3].

Однако используемый в настоящее время подход к построению АФУ РЛЦИ КА обладает рядом недостатков:

- для обеспечения функционирования двух бортовых передатчиков необходима большая мощность (≈ 120 Вт на каждый);
- применение двух передатчиков требует применения двух передающих антенн, что в свою очередь приводит к дополнительным требованиям по электромагнитной совместимости и по оптимальному размещению этих антенн на поверхности КА с целью снижения влияния корпуса КА на энергетические параметры антенн [8, 9];
- ограничено количество наземных пунктов приёма информации, способных принимать сигнал с данной энергетикой;
- значительные габариты применяемых передающих антенн.

Тенденции дальнейшего развития бортовых АФУ РЛЦИ:

- увеличение объёма передаваемой информации с КА на наземные пункты связи;
- уменьшение массы аппаратуры РЛЦИ;
- уменьшение энергопотребления аппаратуры РЛЦИ;
- снижение стоимости;
- увеличение надёжности.

В работе предложен вариант применения антенны с большим коэффициентом усиления (КУ), чем у применяемых в настоящее время бортовых антенн РЛЦИ.

В качестве такой бортовой антенны предложен вариант с применением рупорной антенны [10 – 13].

Основная часть

Рупорные антенны являются простейшими антеннами СВЧ-диапазона. Излучатель типа открытого конца волновода можно рассматривать как рупор, у которого угол раскрытия равен нулю. Для получения более острой ДН сечение стандартного

волновода можно увеличивать плавно, превращая волновод в рупор. В этом случае структура поля в волноводе в основном сохранится. В горле рупора, то есть в месте его соединения с волноводом, всё же возникают высшие типы волн. Однако, если угол раскрытия рупора не слишком велик, то волны всех типов, кроме основного, быстро затухают в окрестности горловины рупора, а по рупору будет распространяться только колебания основного типа.

Основные типы рупоров образуются в результате расширения прямоугольного или круглого волновода. Если расширение прямоугольного волновода происходит только в одной плоскости, то получается секториальный рупор. В зависимости от того, в какой плоскости происходит расширение, различают *H*-плоскостные и *E*-плоскостные секториальные рупоры. Если прямоугольный волновод расширяется сразу в двух плоскостях, получается пирамидальный рупор.

Основные типы рупорных антенн показаны на рис. 3.

Расширяющийся круглый волновод образует конический рупор. Кроме указанных типов, применяются ещё комбинированные прямоугольные рупоры.

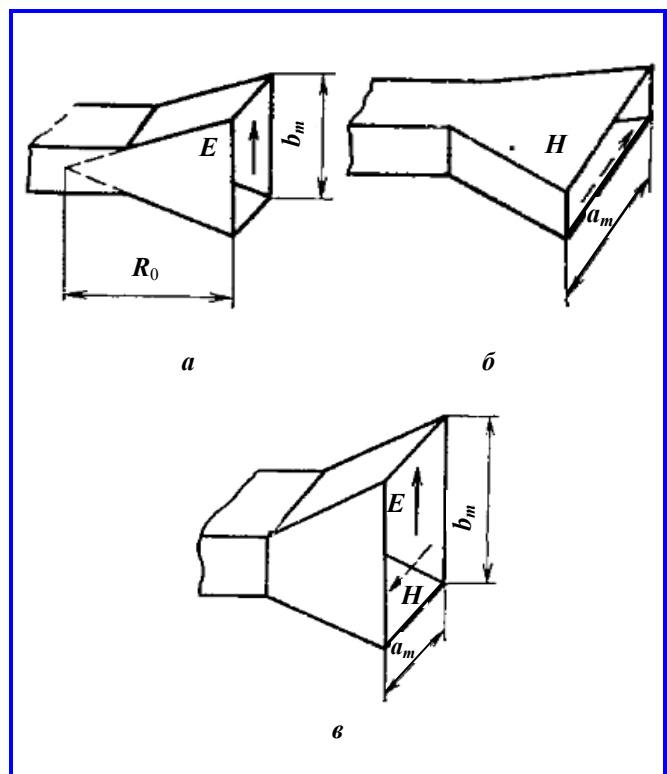


Рис. 3. Рупорные антенны: *a* – секториальный *E*-рупор; *б* – секториальный *H*-рупор; *в* – пирамидальный рупор

Рупорные антенны могут применяться как самостоятельно, так и в качестве элементов более сложных антенн. Рупорные антенны позволяют формировать ДН шириной от 100 – 140 градусов до 10 – 20 градусов. Возможность дальнейшего сужения ДН ограничивается необходимостью резкого увеличения длины рупора. Рупорные антенны являются широкополосными, они обеспечивают примерно полуторное перекрытие по диапазону. Возможность изменения рабочей частоты в ещё больших пределах ограничивается возбуждением и распространением, в питающем волноводе высших типов волн. Коэффициент полезного действия рупора – высокий (приблизительно 100%). Включение в волноводный тракт фазированной секции или в раскрыв поляризационной решётки обеспечивает создание поля с круговой поляризацией [14 – 17]. Для формирования узких ДН могут быть использованы двумерные решётки из небольших рупоров. Для этого надо взять несколько слабонаправленных излучателей, расположить их определенным образом в пространстве, запитать от общего генератора и подобрать должным образом амплитуды и фазы их токов. Перспективным направлением является построение полосковых рупорных антенн на воздушных полосковых линиях или с использованием технологии многослойной печати [13]. Такие антенны обладают широкой рабочей полосой, но при этом имеют компактную структуру (рис. 4).

Расчёт рупорных антенн основан на результатах их анализа, то есть первоначально ориентировочно задаются геометрическими размерами антенны, а затем определяют её электрические параметры. Если размеры выбраны неудачно, то расчёт повторяется снова.

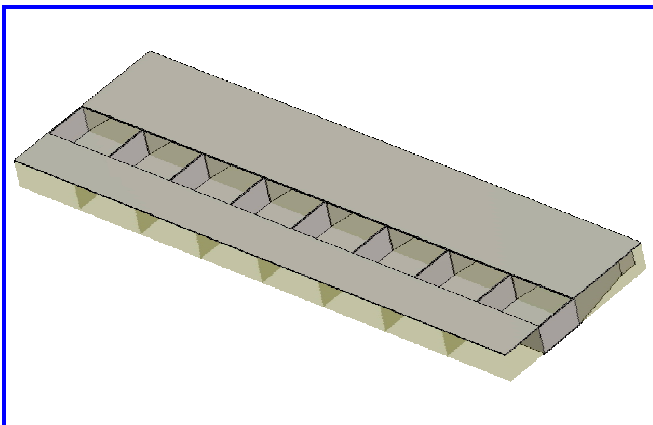


Рис. 4. Модель антенной решётки полосковых рупорных излучателей

Поле излучения рупорной антенны, как и всех антенн СВЧ, определяется приближённым методом. Сущность приближения заключается в том, что несмотря на связь между полем внутри и вне рупора, внутреннюю задачу решают независимо от внешней, и полученные из этого решения значения поля в плоскости раскрыва рупора используют для решения внешней задачи.

Амплитудное распределение поля в раскрыве рупора принимается таким же, как и в питающем его волноводе. При возбуждении рупора прямоугольным волноводом с волной H_{10} вдоль оси X (проходящей в плоскости H) распределение амплитуды поля косинусоидальное, а вдоль оси Y (проходящей в плоскости E) амплитудное распределение равномерное.

В связи с тем, что фронт волны в рупоре не остается плоским, а трансформируется в цилиндрический в секториальном рупоре и в сферический в пирамидальном и коническом, то фаза поля по раскрыву меняется по квадратичному закону.

Описанные амплитудное и фазовое распределение поля по раскрыву являются приближёнными. Некоторое уточнение даёт учёт отражения от раскрыва хотя бы только основного типа волны. При этом надо иметь в виду, что коэффициент отражения уменьшается с увеличением раскрыва.

ДН рупорной антенны по известному полю в раскрыве может рассчитываться методом волновой оптики на основе принципа Гюйгенса и формулы Кирхгофа. Применение формулы Кирхгофа к электромагнитному полю не является строгим. Имея выражение для ДН, можно найти коэффициент направленного действия антенны, зависимость ширины ДН от размеров раскрыва и другие характеристики антенны.

Рупорная антенна состоит из рупора, волновода и возбуждающего устройства.

Для преобразования поляризации поля антенны используются поляризационные секции на основе круглых или квадратных волноводов. Поляризаторы на основе квадратных волноводов проще в изготовлении и расчете, так как неоднородности, благодаря которым возникает фазовый сдвиг 90° между ортогональными составляющими поля, размещаются в ортогональных плоскостях декартовой системы координат. В настоящее время для построения поляризаторов на квадратном волноводе широко применяются различные комбинации тонких диафрагм, расположенных на двух противоположных стенках волновода или отрезки гофрированных волноводов. Однако, для возбуждения таких поляризационных секций требуется поворачи-

вать питающий волновод на 45° , а также применять согласующие переходы, что конструктивно не всегда удобно [14, 18, 19].

Для расширения рабочей полосы в таких поляризаторах применяются различные законы размещения диафрагм или гофров. Существенное расширение рабочей полосы достигается применением волноводов и гофров сложной формы [20 – 25].

Известны различные конструкции волноводных поляризаторов на прямоугольных и квадратных волноводах с применением волноводов со сложной формой поперечного сечения [26].

Аналогичные конструкции волноводов приведены в статьях [27, 28], однако, такие конструкции узкополосны. Рабочая полоса не превышает единиц процентов.

Известны конструкции диафрагменных поляризаторов на квадратном волноводе, рассмотренные в работе [29]. Данный класс устройств применяется в бортовых и наземных станциях космической связи для преобразования линейно-поляризованных волн в волны круговой поляризации и обратно. Во многом конструкция поляризатора аналогична конструкции, приведенной в статье [18]. Отличие её состоит в более оптимальном с точки зрения расширения рабочей полосы, выборе закона, по которому меняется высота гребней замедляющей структуры в диафрагме. Поляризатор обеспечивает дифференциальный фазовый сдвиг с точностью $1,2^\circ$ в выделенных диапазонах при КСВ $<1,038$. В расширенном частотном диапазоне с коэффициентом перекрытия 1,29 погрешность реализации дифференциального фазового сдвига не превышает $1,5^\circ$ при КСВ $<1,045$. Однако эти характеристики реализуются с помощью замедляющей структуры, состоящей из 20 элементов.

Более простой по своей конструкции волноводный поляризатор описывается в монографии [30]. Он обеспечивает коэффициент эллиптичности равный 0,98, коэффициент бегущей волны 0,95, полюсу пропускания 18%. Однако конструкция имеет сравнительно большие габариты и требует подстройки параметров.

Электродинамическая модель расфазированной рупорной антенны представлена на рис. 5.

В качестве соединителя может быть использован коаксиально-волноводный переход или вращающееся волноводное сочленение.

На рис. 6 и 7 представлены коэффициент стоячей волны (КСВ) и ДН модели антенны соответственно.

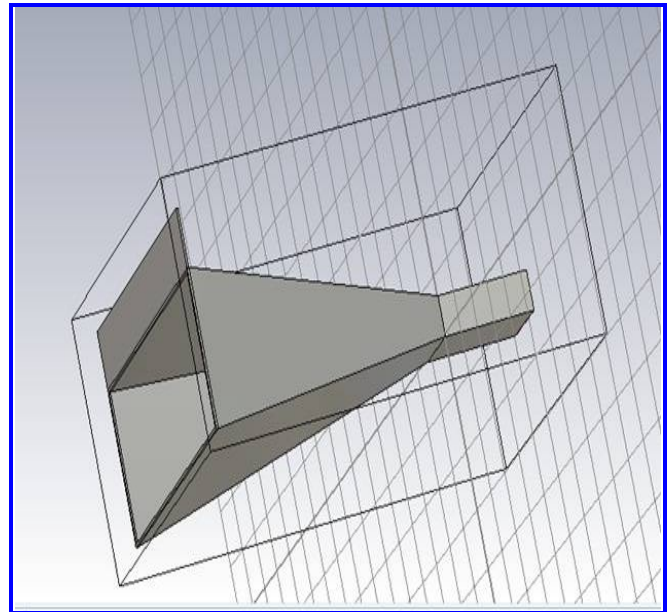


Рис. 5. Модель рупорной антенны

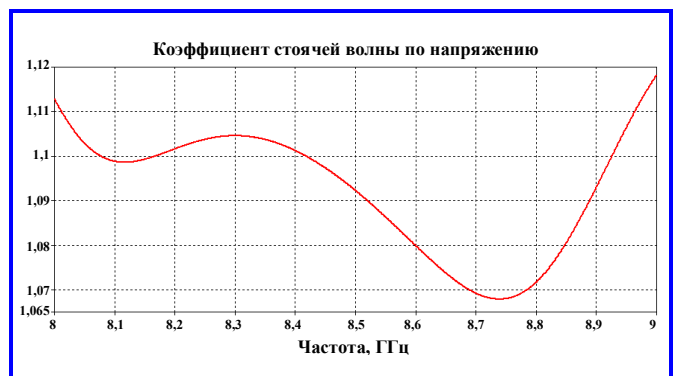


Рис. 6. Коэффициент стоячей волны модели рупорной антенны

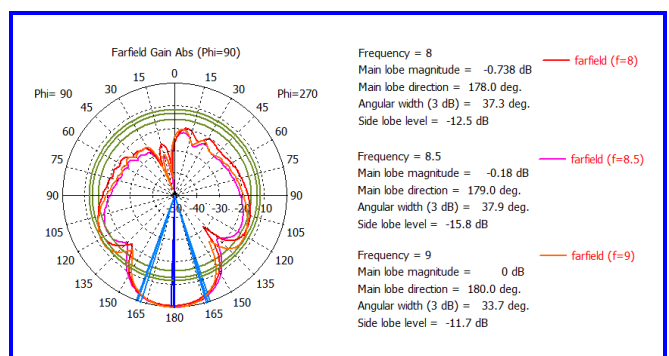


Рис. 7. Диаграмма направленности модели рупорной антенны

Для сравнения полученных результатов электродинамического моделирования была построена модель исследуемой антенны в системе автоматизированного проектирования (САПР) MMANA. ДН приведена на рис. 8.

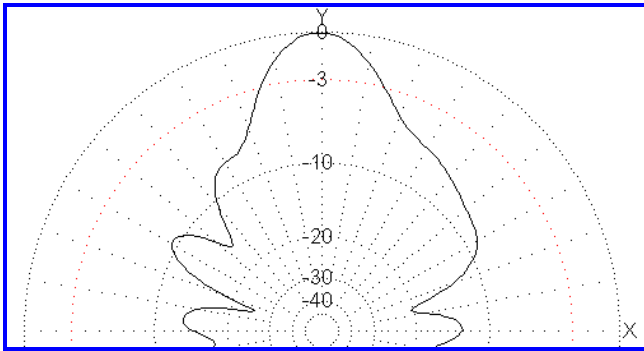


Рис. 8. Диаграмма направленности модели рупорной антенны



Рис. 9. Опытный образец рупорной антенны с линейной поляризацией



Рис. 10. Коэффициент стоячей волны рупорной антенны с линейной поляризацией

Изготовлен опытный (лабораторный) образец рупорной антенны с линейной поляризацией сечением 7 на 7 см, фото которого представлено на рис. 9.

В ходе измерений получены следующие параметры:

- КСВ в полосе 400 МГц не более 1,3;
- ширина ДН по уровню минус 3 дБ примерно 30 градусов;

- спад ДН при углах от 0 до 60 градусов; от 0 до минус 9 дБ;
- КУ 13,7 дБ;
- линейная поляризация.

На рис. 10 приведена зависимость КСВ рупорной антенны.

Образец (макет) для отработки настройки поляризаторов рупорных антенн представлен на рис. 11.

На рис. 12 представлены опытный (лабораторный) образец рупорной антенны с круговой поляризацией.

Представленная рупорная антенна состоит из круглого раскрытия рупора; фазирующей секции; трансформатора и коаксиально-волноводного перехода (для варианта с кабельным трактом).

В ходе измерений получены следующие параметры: КСВ в полосе 700 МГц менее 1,2;

- ширина ДН 30 градусов;
- КУ 17 дБ;



Рис. 11. Макет рупорной антенны для отработки

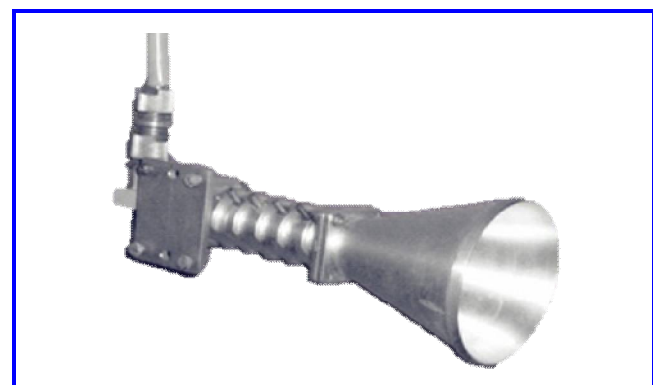


Рис. 12. Опытный образец рупорной антенны с круговой поляризацией

– коэффициент эллиптичности не хуже минус 3 дБ.
Преимущества применения рупорной антенны по сравнению с существующими аналогами:

- широкополосность (увеличение объёма передаваемой информации);
- высокая надёжность благодаря простой конструкции антенны;
- хорошая применяемость в условиях космического пространства.

Увеличение требуемого КУ приводит к резкому увеличению длины антенны.

Широкое применение рупорные антенны нашли в зарубежных КА, например, малый КА TechDemoSat-1, который приведён на рис. 13 [31].

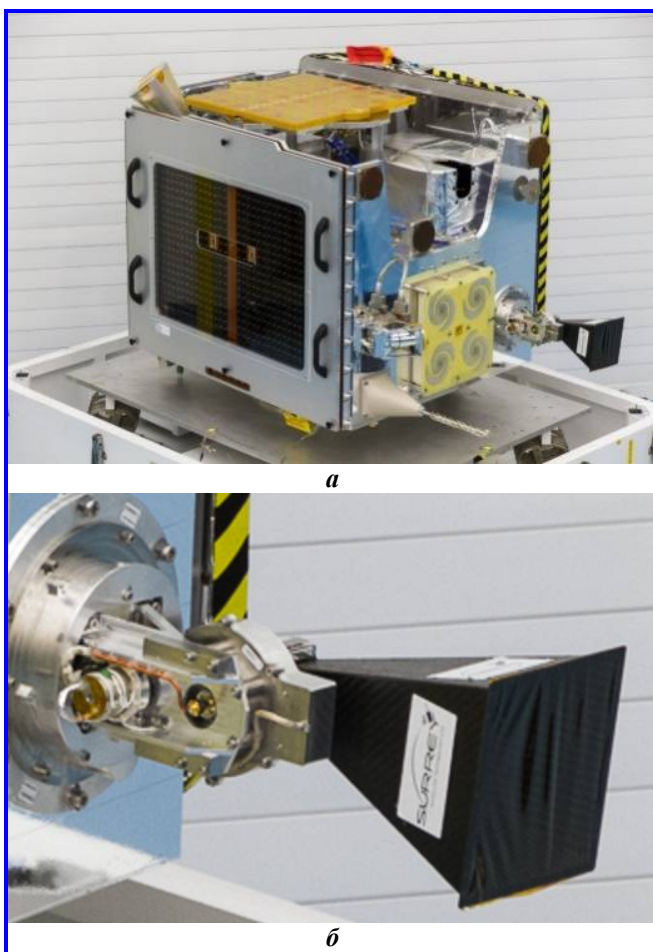


Рис. 13. Космический аппарат TechDemoSat-1:
а – общий вид; *б* – рупорная антенна

Заключение

В данной работе предложен способ построения высокоскоростной радиолинии с помощью увеличения коэффициента усиления бортовой антенны (по сравнению с применяемыми аналогами в настоящее время).

Предложен вариант применения рупорной антенны в качестве бортовой антенны РЛЦИ. Осуществлено моделирование предложенного варианта, в ходе которого получены и оценены параметры исследуемой модели антенны. На основании проведённого моделирования разработан макет. Представлены рупорные антенны с разными типами поляризаторов и рупорных излучателей.

Полученные результаты удовлетворяют требованиям, предъявляемым к бортовым антеннам РЛЦИ КА.

Литература

1. Антенные системы приемных комплексов для оснащения приемных станций ЕТРИС / О. В. Бекренев, А. К. Гончаров, С. И. Мартынов // Материалы конференции «Иосифьяновские чтения – 2017». – 2017. – С. 240 – 241.
2. Состояние и перспективы развития бортовых антенно-фидерных устройств радиолинии передачи целевой информации / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2018. – № 2 (30). – С. 44 – 52.
3. Анализ современных возможностей организации сверхвысокоскоростных спутниковых радиолиний / А. А. Бахтин, Е. В. Омелянчук, А. Ю. Семенова // Труды МАИ. – 2017. – № 96. – 18 с.
4. Космическая система оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций на базе КК «Канопус-В» и Белорусского космического аппарата / А. В. Владимиров, Р. С. Салихов, Н. А. Сенюк [и др.] // Вопросы электромеханики. Космические аппараты для дистанционного зондирования Земли. Труды НПП ВНИИЭМ. – 2008. – Т. 105. – С. 49 – 57.
5. КА «Канопус-В» № 1 – первый российский малый космический аппарат высокоточного дистанционного зондирования Земли нового поколения / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2017. – Т. 156. – № 1. – С. 2 – 11.
6. Запуск первого российского метеорологического КА нового поколения «Метеор-М» № 1 – начало воссоздания отечественной метеорологической орбитальной группировки / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2018. – Т. 165. – № 4. – С. 46 – 60.
7. Космический аппарат «Метеор-М» № 2 / Л. А. Макриденко, С. Н. Волков, А. В. Горбунов [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2018. – Т. 166. – № 5. – С. 36 – 48.
8. Исследование влияния корпуса космического аппарата на характеристики направленности бортовых антенн / В. С. Бочаров, А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Материалы конференции «Иосифьяновские чтения – 2015». – 2015. – С. 61 – 63.
9. Математическое моделирование бортовых антенн космических аппаратов с учётом дифракции / Э. В. Гаджиев, С. Г. Кондратьева, Е. В. Овчинникова // Гагаринские чтения – 2016. Сборник тезисов докладов

- XLII Международной научной молодежной конференции. – 2016. – Т. 1. – С. 499 – 500.
10. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование ФАР. Учебное пособие для вузов / Д. И. Воскресенский, В. И. Степаненко, В. С. Филиппов [и др.]; под ред. Д. И. Воскресенского. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва : Радиотехника, 2003. – 632 с.
11. Двухдиапазонная рупорная антенная решетка системы спутникового телевидения / Д. И. Воскресенский, Е. В. Овчинникова, Фам Ван Винь [и др.] // Антенны. – 2018. – № 3. – С. 8 – 18.
12. Двухдиапазонные антенные системы спутникового телевидения / Е. В. Овчинникова, Фам Ван Винь // Труды 28-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2018). – Севастополь, 2018. – С. 570 – 574.
13. Широкополосные антенны систем спутникового телевидения / Фам Ван Винь, П. А. Шмачилин, С. Г. Кондратьева [и др.] // Труды 27-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2017). – Севастополь, 2017. – С. 618 – 622.
14. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств [Текст] / М. С. Жук, Ю. Б. Молочков. – Москва : Энергия, 1973. – 439 с.
15. A wide-band square-waveguide array polarizer / Ming Chen, G. Tsandoulas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1973. – Vol. 21 (3). – P. 389 – 391.
16. Облучатель с двумя ортогональными круговыми поляризациями / Д. А. Дёмин, Н. П. Чубинский // Журнал радиотехники. – 2014. – № 6. – С. 1 – 13.
17. Моделирование антенных систем спутникового телевидения / Фам Ван Винь // Труды международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». – Москва : МАИ, 2018. – С. 223 – 224.
18. Simmons A. J. Phase shift by periodic loading of waveguide and its application to broad-band circular polarization / A. J. Simmons // IRE Trans. Microwave Theory Tech. – 1955. – Vol. 3. – № 6. – P. 18 – 21.
19. Методические указания к лабораторным работам 3, 4 по курсам «Электродинамика и распространение радиоволн» и «Электромагнитные поля и волны» / сост. И. П. Соловьянова, М. П. Наймушин, С. Н. Шабунин. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУУПИ, 2006. – 37 с.
20. Rebollar J. Broad-band corrugated polarisers using different kinds of corrugations / J. Rebollar // IEEE AP-S Int. Symp. : digest. – Vancouver, 1985. – P. 639 – 642.
21. A novel design tool for waveguide polarizers / G. Virone, R. Tascone, M. Baralis [et al.] // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2005. – Vol. 53. – № 3. – P. 888 – 894.
22. Combined-phase-shift waveguide polarizer / G. Virone, R. Tascone, O. A. Peverini [et al.] // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2008. – Vol. 18. – № 8. – P. 509 – 511.
23. Tucholke U. Field theory design of square waveguide iris polarizers / U. Tucholke, F. Arndt, T. Wriedt // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1986. – Vol. 34. – № 1. – P. 156 – 160.
24. Design and optimization of wide and dual band waveguide polarizer / Y. Liu, F. Li, X. Li [et al.] // Global Symp. Millimeter Waves : symp. proc. – Nanjing, 2008. – P. 384 – 386.
25. Rebollar J. M. Dual-band compact square waveguide corrugated polarizer / J. M. Rebollar, J. de Frutos // IEEE AP-S Int. Symp. : symp. digest. – Orlando, 1999. – P. 962 – 965.
26. Электродинамическая модель и характеристики поляризаторов на отрезках квадратного волновода с диагонально расположенными квадратными выступами / Л. А. Рудь, К. С. Шпаченко // Радиоп физика и электроника. – 2012. – Т. 3 (17). – № 1. – С. 3 – 10.
27. Toyama N. A cross-shaped horn and a square waveguide polarizer for a circularly polarized shaped beam antenna for a broadcasting satellite / N. Toyama // IEEE MTT-S Int. Symp. : symp. digest. – Washington, 1980. – P. 299 – 301.
28. Levy R. The relationship between dual mode cavity crosscoupling and waveguide polarizers / R. Levy // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1995. – Vol. 43. – № 11. – P. 2614 – 2620.
29. Мануилов М. Б. Электродинамический анализ конечных волноводных антенных решеток, частотно-селективных и распределительных устройств на гребневых и прямоугольных волноводах : специальность 01.04.03 : диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Михаил Борисович Мануилов. – Ростов-на-Дону, 2007. – 463 с.
30. Фролов О. П., Вальд В. В. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи / О. П. Фролов, В. В. Вальд. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2008. – 496 с.
31. К вопросу о построении остроаправленной перенацеливаемой бортовой антенны космических аппаратов / А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2018. – Т. 164. – № 3. – С. 26 – 31.

Поступила в редакцию 01.12.2019

Елена Викторовна Овчинникова, доктор технических наук, профессор,
e-mail: oea8888@gmail.com, т. (915) 323-40-36.

Светлана Геннадьевна Кондратьева, кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kondratieff89@ya.ru, т. (915) 042-94-22.

Павел Александрович Шмачилин, кандидат технических наук,
доцент, т. (916) 586-44-32.

Нгуен Динь То, аспирант, e-mail: ndt.mai.198@gmail.com, т. (968) 447-99-44.
(МАИ (НИУ)).

Александр Георгиевич Генералов, начальник лаборатории.

Эльчин Вахидович Гаджиев, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.

Мирзабек Русланович Салихов, инженер-электроник.

Т. (495) 994-55-57.

E-mail: otd24@niiem.ru.

(Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электромеханики» (АО «НИИЭМ»)).

USE OF ON-BOARD HORN ANTENNA AS PART OF MISSION DATA RADIO LINK

E. V. Ovchinnikova, S. G. Kondrateva,
P. A. Shmachilin, Nguyen Dinh To,
A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev,
M. R. Salikhov

In the present time one of the challenging issues is the development and introduction of high speed and ultra-high speed radio data links. The article describes the current state and development potential of such systems. The ways of constructing an on-board antenna-feeder device for a mission data radio link are analyzed in the article. The use of a horn antenna as an on-board antenna for a radio data link is suggested. The main types of horns are formed as a result of extending a rectangular or a circular waveguide. They can be used individually or as part of more complicated antennas. The horn antennas are widely used in ground and on-board telecommunication systems. Due to their structural simplicity and ease of manufacturing, such antennas have good technical characteristics, high reliability and applicability in space environment.

Key words: spacecraft, on-board antenna, horn antenna, strip horn, multilayer printing technology, horn antenna array, mission data radio link, standing wave ratio, pattern, gain.

References

1. Antenna systems of receiving complexes for the United geographically distributed information system receiving stations / O. V. Bekrenev, A. K. Goncharov, S. I. Martynov // Proceedings of conference 'Iosifian readings 2017' – 2017. – Pp. 240 – 241.
2. State and development potential of on-board antenna-feeder devices of mission data radio link / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Radio and telecommunication systems. – 2018. – No. 2 (30). – Pp. 44 – 52.
3. Analysis of modern capabilities for development of high-speed satellite radio links / A. A. Bakhtin, E. V. Omelianchuk, A. Iu. Semenova // MAI Proceedings. – 2017. – No. 96. – 18 p.
4. Space system for on-line monitoring of technological and natural disasters based on Canopus-V space system and Belarusian Satellite / A. V. Vladimirov, R. S. Salikhov, N. A. Senik [et al.] // Matters of Electromechanics. Earth remote sensing satellites. NPP VNIEM Proceedings. – 2008. – Vol. 105. – Pp. 49 – 57.
5. Canopus-V № 1: the first Russian new-generation small satellite for high-resolution Earth remote sensing / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings. – 2017. – Vol. 156. – No. 1. – Pp. 2 – 11.
6. Launch of first Russian meteorological spacecraft of new generation Meteor-M # 1: beginning of recreation of Russian meteorological orbital constellation / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings. – 2018. – Vol. 165. – No. 4. – Pp. 46 – 60.
7. Meteor-M № 2 satellite / L. A. Makridenko, S. N. Volkov, A. V. Gorbunov [et al.] // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings. – 2018. – Vol. 166. – No. 5. – Pp. 36 – 48.
8. Study of impact of satellite body on directivity characteristics of on-board antennas / V. S. Bacharov, A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Proceedings of conference 'Iosifian readings 2015'. – 2015. – Pp. 61 – 63.
9. Mathematical modeling of on-board antennas for satellites with consideration of diffraction / E. V. Gadzhiev, S. G. Kondrateva, E. V. Ovchinnikova // Gagarin readings 2016. Collected volume of abstracts of proceedings for XLII International scientific youth conference. – 2016. – Vol. 1. – Pp. 499 – 500.
10. SHF devices and antennas. Designing of phased array antennas. Training manual for higher educational institutions / D. I. Voskresenskii, V. I. Stepanenko, V. S. Filippov [et al.]; edited by D. I. Voskresenskii. – third edition, enlarged and revised. – Moscow : Radiotekhnika, 2003. – 632 p.
11. Dual-band horn antenna array of satellite television system / D.I. Voskresenskii, E.V. Ovchinnikova, Pham Van Vinh [et al.] // Antennas. – 2018. – No. 3. – Pp. 8 – 18.
12. Dual-band antenna systems for satellite television / E. V. Ovchinnikova, Pham Van Vinh // Proceedings of 28th International Crimean Conference 'Microwave and telecommunication technology' (CriMiCo 2018). – Sevastopol, 2018. – Pp. 570 – 574.
13. Wide-band antennas of satellite television systems / Pham Van Vinh, P. A. Shmachilin, S. G. Kondrateva [et al.] // Proceedings of 27th International Crimean Conference 'Microwave and telecommunication technology' (CriMiCo 2017). – Sevastopol, 2017. – Pp. 618 – 622.
14. Designing of lens, scanning, wide-band antennas and feeder devices [Text] / M.S. Zhuk, Iu.B. Molochkov. – Moscow : Energia, 1973. – 439 p.

15. A wide-band square-waveguide array polarizer / Ming Chen, G. Tsandoulas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1973. – Vol. 21 (3). – P. 389 – 391.
16. Antenna feed with two orthogonal circular polarizations / D. A. Demin, N. P. Chubinskii // Radioengineering journal. – 2014. – No. 6. – Pp. 1 – 13.
17. Modeling of satellite television antenna systems / Pham Van Vinh // Proceedings of International scientific youth conference ‘Gagarin readings’. – Moscow : MAI, 2018. – Pp. 223 – 224.
18. Simmons A. J. Phase shift by periodic loading of waveguide and its application to broad-band circular polarization / A. J. Simmons // IRE Trans. Microwave Theory Tech. – 1955. – Vol. 3. – No. 6. – P. 18 – 21.
19. Laboratory operations manual for courses ‘Electrodynamics and propagation of radio waves’ and ‘Electromagnetic fields and waves’ / compiled by I. P. Solovianova, M. P. Naimushin, S. N. Shabunin. – Yekaterinburg : Ural State Technical University, 2006. – 37 p.
20. Rebolgar J. Broad-band corrugated polarisers using different kinds of corrugations / J. Rebolgar // IEEE AP-S Int. Symp. : digest. – Vancouver, 1985. – P. 639 – 642.
21. A novel design tool for waveguide polarizers / G. Virone, R. Tascone, M. Baralis [et al.] // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 2005. – Vol. 53. – № 3. – P. 888 – 894.
22. Combined-phase-shift waveguide polarizer / G. Virone, R. Tascone, O. A. Peverini [et al.] // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – 2008. – Vol. 18. – № 8. – P. 509 – 511.
23. Tucholke U. Field theory design of square waveguide iris polarizers / U. Tucholke, F. Arndt, T. Wriedt // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1986. – Vol. 34. – № 1. – P. 156 – 160.
24. Design and optimization of wide and dual band waveguide polarizer / Y. Liu, F. Li, X. Li [et al.] // Global Symp. Millimeter Waves : symp. proc. – Nanjing, 2008. – P. 384 – 386.
25. Rebolgar J. M. Dual-band compact square waveguide corrugated polarizer / J. M. Rebolgar, J. de Frutos // IEEE AP-S Int. Symp. : symp. digest. – Orlando, 1999. – P. 962 – 965.
26. Electrodynamics model and characteristics of polarizers in rectangular waveguide sections with diagonal square protrusions / L. A. Rud, K. S. Shpachenko // Radiophysics and electronics. – 2012. – Vol. 3 (17). – No. 1. – Pp. 3 – 10.
27. Toyama N. A cross-shaped horn and a square waveguide polarizer for a circularly polarized shaped beam antenna for a broadcasting satellite / N. Toyama // IEEE MTT-S Int. Symp.: symp. digest. – Washington, 1980. – P. 299 – 301.
28. Levy R. The relationship between dual mode cavity crosscoupling and waveguide polarizers / R. Levy // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. – 1995. – Vol. 43. – № 11. – P. 2614 – 2620.
29. Manuilov M. B. Electrodynamics analysis of finite antenna arrays, frequency selective and distribution devices on ridge and rectangular waveguides : specialty 01.04.03 : thesis for the degree of Doctor of Physics and mathematics (D.Sc.) / Mikhail Borisovich Manuilov. – Rostov-on-Don, 2007. – 463 p.
30. Frolov O. P. Vald V. V. Reflector antennas for ground satellite communications stations / O. P. Frolov, V. V. Vald. – Moscow : Hotline – Telecom, 2008. – 496 p.
31. About designing a narrow-beam steerable on-board antenna for satellites / A. G. Generalov, E. V. Gadzhiev // Matters of Electromechanics. VNIIEM Proceedings – 2018. – Vol. 164. – No. 3. – Pp 26 – 31

*Elena Viktorovna Ovchinnikova, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor,
e-mail: oea8888@gmail.com, tel.: +7 (915) 323-40-36.*

*Svetlana Gennadevna Kondrateva, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
e-mail: kondratieff89@ya.ru, m. (915) 042-94-22.*

*Pavel Aleksandrovich Shmachilin, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.),
Associate Professor, tel.: +7 (916) 586-44-32.*

*Nguyen Dinh To, Ph.D. Student, e-mail: ndt.mai.198@gmail.com, tel.: +7 (968) 447-99-44.
(Moscow Aviation Institute (National Research University)).*

Aleksandr Georgievich Generalov, Head of Laboratory.

*Elchin Vakhidovich Gadzhiev, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher.
Mirzabek Ruslanovich Salikhov, Electronics Engineer, tel.: +7 (495) 994-55-57, e-mail: otd24@niiem.ru.
(Joint-Stock Company «Research Institute of Electromechanics» (JSC «NIIEM»)).*