

Федосов Валентин Петрович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: fed_val@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634371632; кафедра теоретических основ радиотехники; д.т.н.; профессор.

Fedosov Valentine Petrovich – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomous Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: fed_val@tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371632; the department of fundamentals of radio engineering; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 681.327.12

В.А. Обуховец, Ю.В. Юханов, А.И. Семенихин, Г.И. Костромитин

**СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН
И РАССЕИВАТЕЛЕЙ В БЕЗЭХОВОЙ КАМЕРЕ ЮЖНОГО
ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

В последние годы получили распространение измерительные системы на основе сверхширокополосных автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов (СШП АИВК) [1, 2]. Они реализуют СШП измерения электромагнитных полей методами ближней и дальней зон, как во временной, так и в частотной областях.

Штатное оборудование и программное обеспечение АИВК позволяют измерять радиотехнические характеристики антенн и радиолокационных объектов во временной и частотной областях, в ближней и дальней зонах, в диапазоне частот 1...37,5 ГГц [4].

В докладе рассматриваются параметры БЭК ТТИ, некоторые новые возможности и результаты измерений характеристик антенн, сканирующих антенных решеток (АР) и рассеивателей в ближней и дальней зонах, во временной и частотной областях.

БЭК (безэховая камера).

V.A. Obuhovets, Yu.V. Yukhanov, A.I. Semenikhin, G.I. Kostromitin

**ULTRAWIDEBANDED MEASURES OF CHARACTERISTICS
OF ANTENNAS AND SCATTERERS IN THE ANECHOIC CHAMBER
AT SOUTHERN FEDERAL UNIVERSITY**

In recent years, a proliferation of measurement systems based on UWB automated measuring and computing systems (UWB AIVK) [1,2] are spread. They implement a UWB measurement of electromagnetic fields by methods of near and far zones, both in time and frequency domains.

Original equipment and software AIVK can measure the radio technical characteristics of antennas and radiolokatsionnye objects in the time and frequency domains, in the near and far zones, in the frequency range 1 ... 37.5 GHz [4].

In the report the options BEC TIT, some new features and measurements of antenna parameters, scanning arrays (AR) and the scatterers in the near and far zones, in both time and frequency domains are observed.

BEC (bezekhovy chamber).

В последние годы получили распространение измерительные системы на основе сверхширокополосных автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов (СШП АИВК) [1, 2]. Они реализуют СШП измерения электромагнитных полей методами ближней и дальней зон, как во временной, так и в частотной областях.

В Таганрогском технологическом институте Южного федерального университета (ТТИ ЮФУ) в Центре коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения» в 2008 году введена в эксплуатацию единственная

на сегодняшний день в ВУЗах России безэховая камера (БЭК) со сверхширокополосным комплексом *ТМСА/1-40/ДБЗ/ТД-FD* (ниже АИВК) производства ООО «НПП ТРИМ СШП» [3].

Комплекс внесен в Государственный реестр средств измерений и допущен к применению в Российской Федерации (свидетельство №46335-10 от 30.12.2010 г.).

Штатное оборудование и программное обеспечение АИВК позволяют измерять радиотехнические характеристики антенн и радиолокационных объектов во временной и частотной областях, в ближней и дальней зонах, в диапазоне частот 1...37,5 ГГц [4].

В докладе рассматриваются параметры БЭК ТТИ, некоторые новые возможности и результаты измерений характеристик антенн, сканирующих антенных решеток (АР) и рассеивателей в ближней и дальней зонах, во временной и частотной областях.

Основные параметры безэховой камеры и комплекса АИВК. Прямоугольная БЭК размером 12×6×3,5 м³ практически полностью покрыта пирамидальным РПМ *Eccosorb VHP-60-NRL* с рабочей полосой частот 0,5...90 ГГц (рис. 3); угловые области БЭК закрыты плоским РПМ *Eccosorb FS-50-NRL* (производства *Emerson&Cuming*).

В состав АИВК входят (рис. 1, 2, 4): плоский сканер ближнего поля ТМП04ПЗх3, опорно-поворотное устройство (ОПУ) ТМП04В010, СШП передатчик ТМГ008020VN01, СШП приемник ТМР8140, векторные анализаторы цепей R&S@ZVA40, PNA-8361, источник бесперебойного питания и компьютерная система управления, обработки, каталогизации и визуализации результатов измерений.

В комплекс также входят две измерительные антенны П6-23М, ТМА 18-40И для облучения измеряемой антенны в дальнем поле, четыре антенны-зонда для облучения измеряемой антенны в ближнем поле в диапазонах 1...4 ГГц, 4...12 ГГц, 8...18 ГГц, 18...40 ГГц, две эталонные антенны П6-23М, ТМА 18-40Э для измерения коэффициента усиления антенны в диапазонах 1...18 ГГц и 18...40 ГГц.

Прецизионное ОПУ (рис. 1,б) автоматически изменяет углы азимута, элевации и поляризации антенны (рассеивателя) и осуществляет ее линейное перемещение вдоль слайдера. Сканер (рис. 2,а,в) обеспечивает перемещение антенны-зонда в плоскости сканирования и перпендикулярно к ней, а также по угловой координате поляризации антенны-зонда. При вычислении комплексных спектров сигналов используются «расширенное» преобразование Фурье и сглаживающие временные функции.

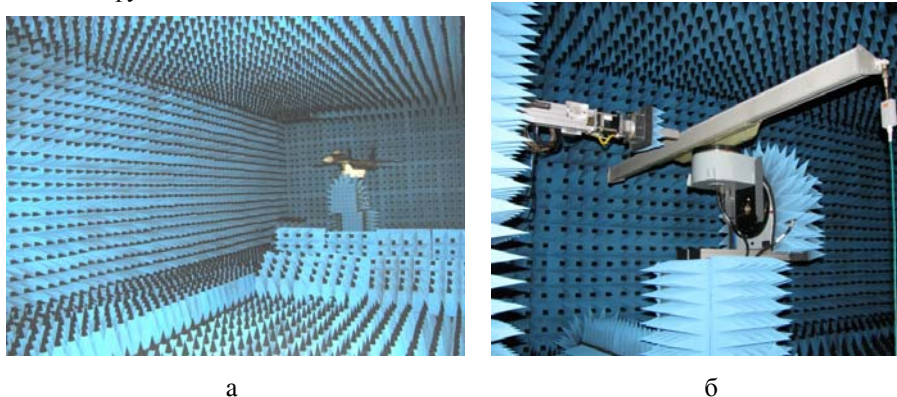


Рис. 1. Безэховая камера ТТИ с комплексом *ТМСА/1-40/ДБЗ/ТД-FD*: а – общий вид БЭК с объектом измерений; б – ОПУ с антенной перед сканером

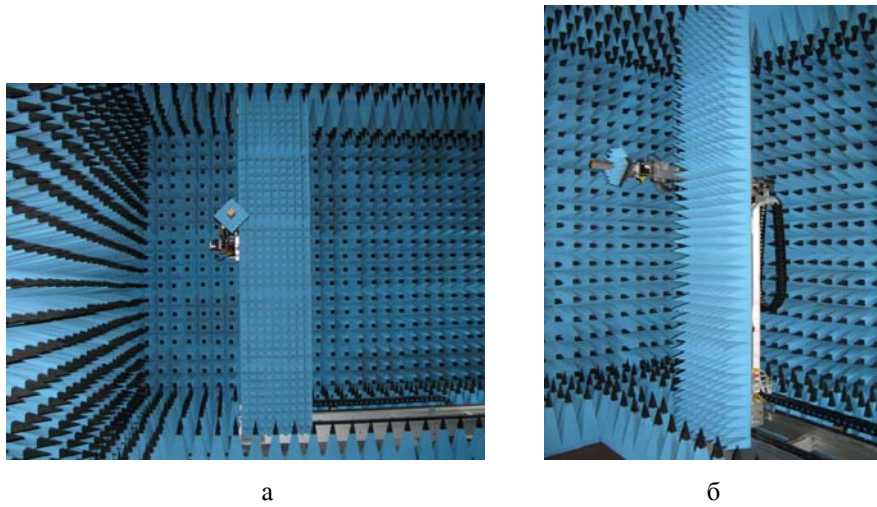


Рис. 2. Сканер ближнего поля

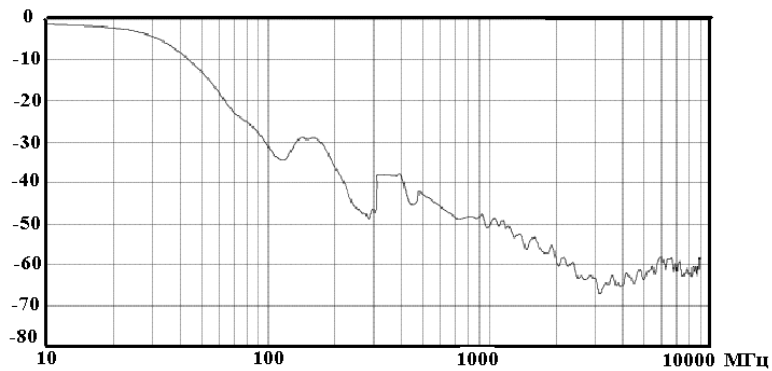


Рис. 3. Частотная характеристика коэффициента отражения в дБ радиопоглощающего материала Eccosorb VHP-60-NRL

Комплекс АИВК позволяет измерять следующие характеристики антенн и рассеивателей:

- ◆ амплитудные (АДН) и фазовые (ФДН) диаграммы направленности (ДН) антенн;
- ◆ объемные ДН и их сечения (азимут, элевация, амплитуда);
- ◆ коэффициент направленного действия и коэффициент усиления антенн;
- ◆ поляризационные характеристики (коэффициент эллиптичности и угол наклона);
- ◆ амплитудные и фазовые распределения поля в раскрыве антенны;
- ◆ положение фазового центра в пространстве при изменении направления и частоты;
- ◆ амплитудные и фазовые диаграммы обратного рассеяния объекта;
- ◆ частотные зависимости ЭПР, поляризационные матрицы рассеяния объекта;
- ◆ импульсные характеристики, радиолокационные изображения объекта;
- ◆ частотные и переходные характеристики активных и пассивных устройств СВЧ;

- ◆ параметры малых неоднородностей в распределенных трактах СВЧ.
- ◆ Основные характеристики безэховой камеры и комплекса АИВК:
 - ◆ диапазон рабочих частот АИВК 1,0...37,5 ГГц;
 - ◆ рабочая полоса частот РПМ *VHP-60-NRL* 0,5...90,0 ГГц;
 - ◆ коэффициент отражения РПМ *VHP-60-NRL*:
 - на частоте 1 ГГц, не более – 40,0 дБ;
 - на частоте 10 ГГц, не более – 60,0 дБ;
 - ◆ коэффициент безэховости в рабочей зоне БЭК, не более -20...-40 дБ;
 - ◆ собственная ЭПР БЭК, не более $10^{-3} \dots 10^{-4} \text{ м}^2$;
 - ◆ размер рабочей зоны прецизионного сканера 3,0×3,0 м²;
 - ◆ погрешность позиционирования сканера, не более ±150 мкм;
 - ◆ погрешность позиционирования ОПУ по угловым координатам, не более ±0,05°;
- ◆ длительность импульсов СШП передатчика $\tau_{0,5} 35 \text{ пс} \pm 0,1 \tau_{0,5}$;
- ◆ диапазон установки временного окна СШП приемника 100 пс...1 мкс;
- ◆ количество накоплений измеряемого сигнала 1...4096;
- ◆ динамический диапазон СШП приемника, не менее 75 дБ;
- ◆ погрешность измерения коэффициента усиления до уровня -20 дБ, не более ±0.3 дБ;
- ◆ погрешность измерения амплитудной диаграммы направленности:
 - в диапазоне 0...-20 дБ, не более ±0.2 дБ;
 - в диапазоне -20...-45 дБ, не более ±0.5 дБ;
- ◆ погрешность измерения фазовой диаграммы направленности:
 - при уровнях АДН 0...-20 дБ, не более 3,6°;
 - при уровнях АДН -20...-45 дБ, не более 6,5°;
- ◆ погрешность измерения ЭПР калибровочных отражателей, не более ±0.4 дБ;
- ◆ погрешность измерения ЭПР объектов:
 - для отношения сигнал/фон 10 дБ ±3.4 дБ;
 - для отношения сигнал/фон 20 дБ ±1.5 дБ;
 - для отношения сигнал/фон 30 дБ ±1.2 дБ.

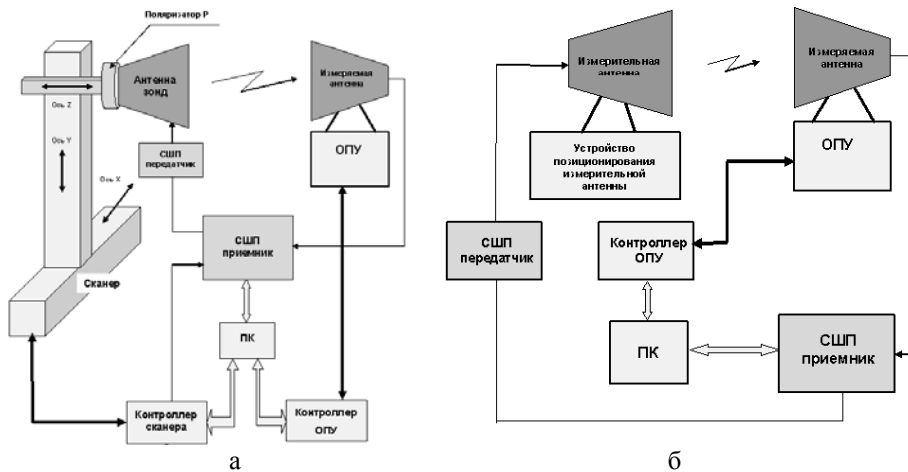


Рис. 4. Структурные схемы АИВК для измерения характеристик антенн во временной области в ближней (а) и дальней (б) зонах

Измерение характеристик антенн в ближней и дальней зонах. В дальней зоне во временной области все характеристики антенны измеряются одновременно во всей рабочей полосе частот за один оборот антенны (рис. 5).

Примеры измеренных амплитудно-фазовых распределений поля в ближней зоне корабельной антенны приведены на рис. 6.

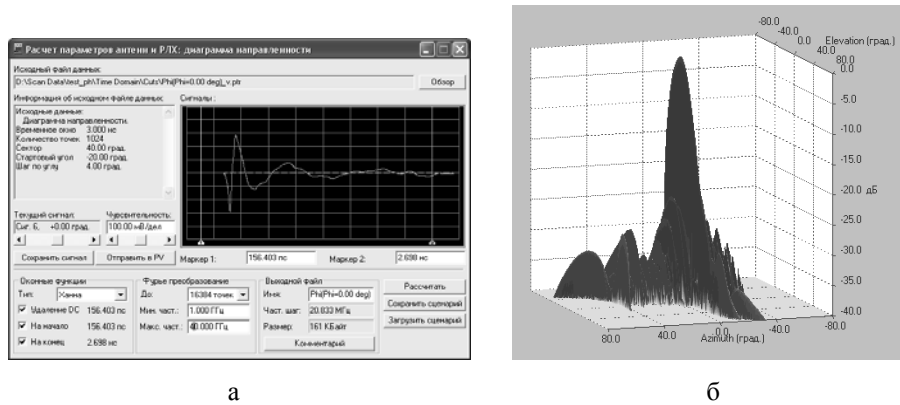


Рис. 5. Интерфейс измерений во временной области (а) и пример ДН (б)

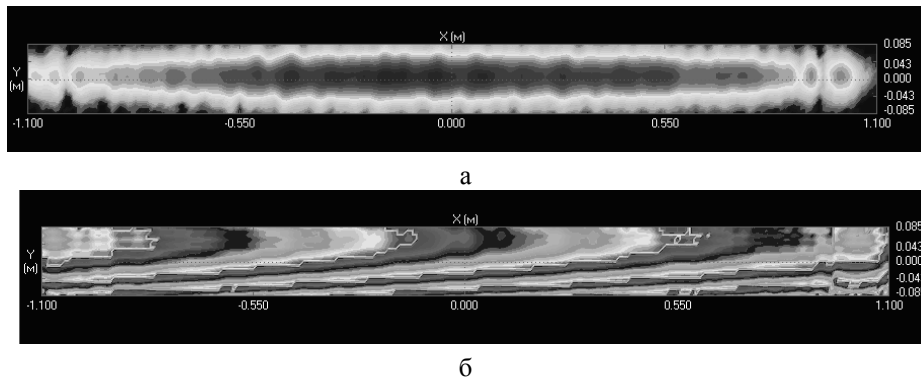


Рис. 6. Примеры измеренных амплитудного (а) и фазового (б) распределений поля в ближней зоне корабельной антенны (рис. 1,б) на частоте 9300 МГц

Исследования и обработка АР часто требуют проведения последовательных независимых измерений для каждого излучателя АР, например, в случае цифровых АР. При этом растет время измерений и время коммутации излучателей и их согласованных нагрузок. В четырехканальном анализаторе R&S@ZVA40 установлено 8 независимых квадратурных приёмников [3], что позволяет параллельно измерять до 7 независимых излучателей АР (один эталонный приёмник необходим для приёма опорного сигнала, генерируемого для получения квадратурных составляющих).

Можно увеличить число одновременно измеряемых излучателей до 8, сужая полосу пропускания и не используя стандартный опорный сигнал с одного из эталонных приёмников (используя сигнал гетеродина приёмников в качестве опорного). В этом случае следует измерять разность фазовых ДН отдельных излучателей.

Таким образом, несложная обработка результатов позволяет параллельно измерять характеристики до 8 излучателей АР. Макет сканирующей АР и примеры измеренных ДН АР приведены на рис. 7.

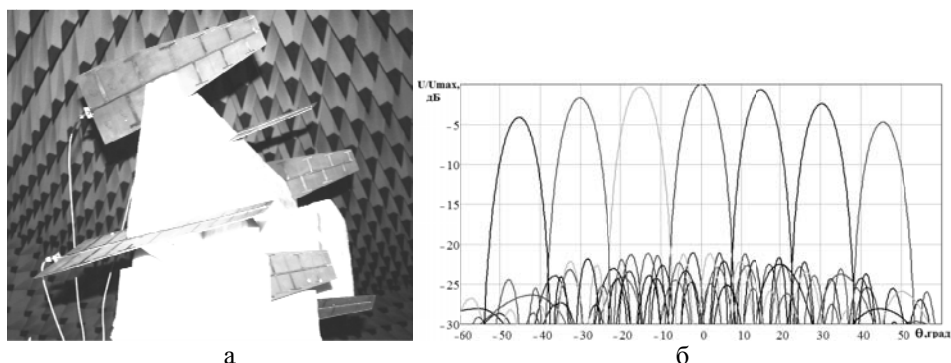


Рис. 7. Макет сканирующей AP (а) и примеры измеренных ДН AP (б)

Измерение ЭПР во временной области в дальней и ближней зонах. Измерение ЭПР во временной области в дальней зоне обычно предполагает использование двух рядом расположенных приёмной и передающей антенн.

Развязка между ними обеспечивается за счёт временного разделения излучаемого и принимаемого сигналов. Для устранения паралакса можно использовать совмещённую приёмно-передающую антенну; отражённый сигнал выделять циркулятором, ответвителем или широкополосным делителем мощности.

При этом двухканальный СШП приёмник принимает как сигнал СШП передатчика (задержанный внешним подбираемым отрезком коаксиального кабеля), так и отражённый сигнал (рис. 8,б). Компенсация мешающих отражений от ОПУ реализуется в частотной области.

Наличие сканера АИВК позволяет измерять ЭПР объектов в ближней зоне (рис. 8,а). Для снижения времени измерений предполагается использовать сканирование не по плоской, а по цилиндрической поверхности.

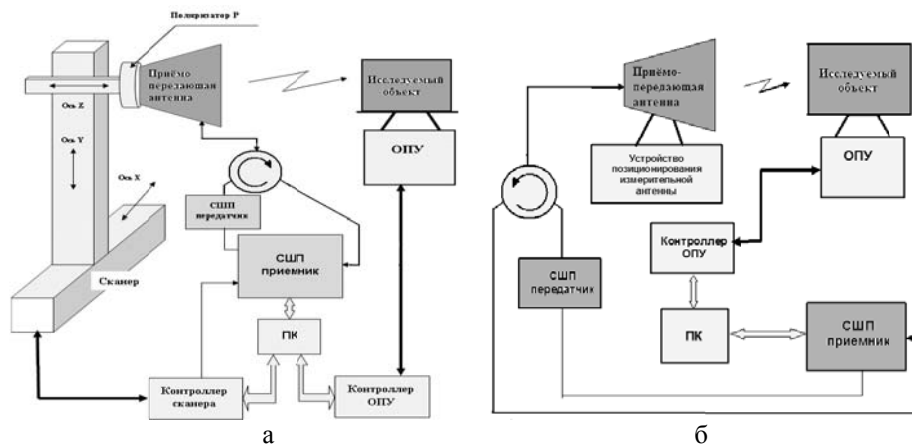


Рис. 8. Структурные схемы АИВК для измерений ЭПР во временной области в ближней (а) и дальней (б) зонах

Заключение. Введение в эксплуатацию в ТТИ ЮФУ уникальной безэховой камеры и комплекса АИВК ТМСА/1-40/ДБЗ/ТД-FD позволяет реализовать сверхширокополосные экспериментальные исследования антенн, рассеивателей, пассивных и активных устройств СВЧ, проблем ЭМС в диапазоне частот до 37,5...40 ГГц, а в перспективе – до 90 ГГц и выше.

Это стимулирует постановку и проведение в ЮФУ новых инновационных исследований в области электромагнитных свойств новых материалов и веществ, Стелс-технологий, антенной техники, прикладных задач ЭМС, радио- и противорадиолокации, видеоимпульсной локации.

Интеграция научной и учебной деятельности Центра коллективного пользования «Прикладная электродинамика и антенные измерения» способствует созданию и внедрению в учебный процесс новых образовательных технологий, научно-исследовательских практикумов, освоению бакалаврами, магистрантами и аспирантами ЮФУ новых профессиональных компетенций мирового уровня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балабуха Н.П., Зубов А.С., Солосин В.С. Компактные полигоны для измерения характеристик рассеяния объектов. Под ред. Н.П. Балабухи. – М.: Наука, 2007. – 266 с.
2. Калинин Ю.Н., Миляев П.В., Миляев А.П., Морев В.Л., Потиков М.В. Измерение характеристик антенн методами ближней и дальней зоны во временной области // Труды Междунар. научн. конф. «Излучение и рассеяние ЭМВ» (ИРЭМВ-2009). – Таганрог, 2009. – С. 355-359.
3. Сайт ООО «НПП ТРИМ СШП Измерительные системы»: <http://www.trimcom.ru>.
4. Обуховец В.А., Юханов Ю.В., Семенихин А.И., Костромитин Г.И. Исследование излучающих и рассеивающих структур в Центре прикладной электродинамики и антенных измерений Таганрогского технологического института ЮФУ // Труды Междунар. научн. конф. «Излучение и рассеяние ЭМВ» (ИРЭМВ-2009). – Таганрог, 2009. – С. 41-47.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэльян.

Обуховец Виктор Александрович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: airpu@tsure.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; д.т.н.; профессор.

Юханов Юрий Владимирович – e-mail: y_yukhanov@mail.ru; кафедра антенн и радиопередающих устройств; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Семенихин Андрей Илларионович – e-mail: anilsem@mail.ru; кафедра антенн и радиопередающих устройств; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Костромитин Геннадий Иванович – e-mail: airpu@tsure.ru; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

Obuhovec Victor Alexandrovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: airpu@tsure.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovsky Taganrog, 347928, Russia; phone: 88634371733; the department of antennas and radio transmitters; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

Yukhanov Yury Vladimirovich – e-mail: y_yukhanov@mail.ru; the department of antennas and radio transmitters; head the department; dr. of eng. sc.; professor.

Semenikhin Andrey Illarionovich – e-mail: anilsem@mail.ru; phone: 88634371733; the department of antennas and radio transmitters; dr. of eng. sc.; professor.

Kostromitin Gennady Ivanovich – e-mail: airpu@tsure.ru; the department of antennas and radio transmitters; cand. of eng. sc.; associate professor.