

М.В. МАРКОСЯН, В.Г. АВETИСЯН, А.А. ОГАНЕСЯН,
А.К. АГАРОНЯН, А.И. ПЕТРОСЯН, Г.З. СУГЯН

МОДЕРНИЗАЦИЯ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН

Приводятся результаты исследований и технические решения при модернизации антенной системы радиолокационной станции диапазона метровых волн, направленных на повышение ее радиотехнических параметров и мобильности. Исследуются вопросы модернизации в радиотехническом направлении.

Ключевые слова: антенная система, модернизация, радиолокационная станция, диапазон метровых волн.

Введение. Современные комплексы радиолокационного обнаружения воздушных объектов (ВО) охватывают радиолокационные станции (РЛС) различных диапазонов, начиная с метровых волн и включая сверхвысокочастотный (СВЧ) диапазон. Такой широкий охват частотных диапазонов обусловлен стремительными темпами конструктивных и технологических разработок для ВО, направленных на минимизацию отражений от них. С этой точки зрения РЛС диапазона ультракоротких волн (УКВ) успешно конкурируют с РЛС диапазона СВЧ. Одновременно они дополняют друг друга и повышают возможность надежного обнаружения ВО. Эксплуатация РЛС в современных условиях требует повышения их тактико-технических характеристик, в частности, по дальности обнаружения ВО, по точности определения их координат. С другой стороны, современные возможности средств обнаружения самой РЛС и ее уничтожения настоятельно требуют повышения ее мобильности [1], которая во многом определяется временем сворачивания РЛС из рабочего положения в транспортное и наоборот.

Для РЛС диапазона УКВ, являющихся объектами с громоздкой антенной системой, в первую очередь возникает необходимость модернизации антенной системы, конструкцией которой в основном определяются вышеупомянутые характеристики. Задача модернизации антенной системы подразделяется на два направления: первое – модернизация антенной системы в радиотехническом плане; второе – модернизация антенной системы в конструкторско-технологическом плане. Эти два направления тесно увязаны друг с другом, поскольку выбор излучателей антенной решетки и системы их возбуждения (с точки зрения их формы и габаритных размеров) во многом определяет выбор конструктивных и технологических решений для оптимальной компоновки всей антенной системы в транспортное состояние. При этом антенная система должна удовлетворять

дополнительным требованиям на влажность и температуру, на работоспособность в зависимости от вида атмосферных гидрометеоров и их состава, на работоспособность в условиях ветровых нагрузок.

Цель работы – в сжатой форме представить исследования и решения, направленные на повышение радиотехнических параметров антенной системы РЛС диапазона УКВ и увеличение мобильности РЛС за счет сокращения времени перевода РЛС из транспортного положения в боевую готовность и обратно.

Излучатели антенной решетки. Во избежание существенного увеличения громоздкости антенной системы РЛС диапазона УКВ в модернизированном варианте предусматривалась антенная решетка, состоящая из двух этажей с линейными рядами излучателей. Как отмечалось выше, решение задачи повышения мобильности РЛС изначально связано с выбором антенн-излучателей решетки. Однако их выбором определяются также направленные свойства антенной решетки – ее диаграмма направленности (ДН), коэффициент усиления (КУ), уровни боковых лепестков (УБЛ) и т.д.

С этой целью был проведен сравнительный анализ различных антенн в качестве возможных излучателей антенных решеток УКВ диапазона [2 – 4]. Это логопериодическая антенна, ромбовидная антенна Харченко, антенны типа “волновой канал” и кольцевая антенна [5], разработанная и спроектированная по подобию микрополосковой антенны, предложенной в [6]. Анализ сравнения проводился по следующим электрическим параметрам – полоса рабочих частот, коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) и КУ. При этом особое внимание обращалось на приемлемость их весогабаритных параметров и, особенно, продольных размеров вдоль их оси излучения. Критерии выбора по первым трем электрическим параметрам определяют радиотехнические параметры антенной решетки в целом – ее широкополосность, ДН, КУ, УБЛ и КСВН. Критерий выбора по габаритным размерам определяет компоновку свертывания антенной решетки в транспортное положение и возможность горизонтирования излучателей антенной решетки. Последнее ощутимо отражается на формировании необходимой ДН решетки в вертикальной плоскости.

По результатам расчетов и моделирования было выявлено, что наиболее приемлемыми величинами по параметрам сравнительного анализа обладает кольцевая антенна. Параметры оказались следующими: относительная ширина полосы рабочих частот – около 20...25%, $КСВН \leq 1,6$, $КУ \approx 8,5...9$ дБ при размере рефлектора $1,2 \times 1,2$ м и продольном размере вдоль оси излучения 0,2 м.

Результаты моделирования кольцевой антенны с использованием пакета программ FEKO 5.5 приведены на рис. 1 и 2.

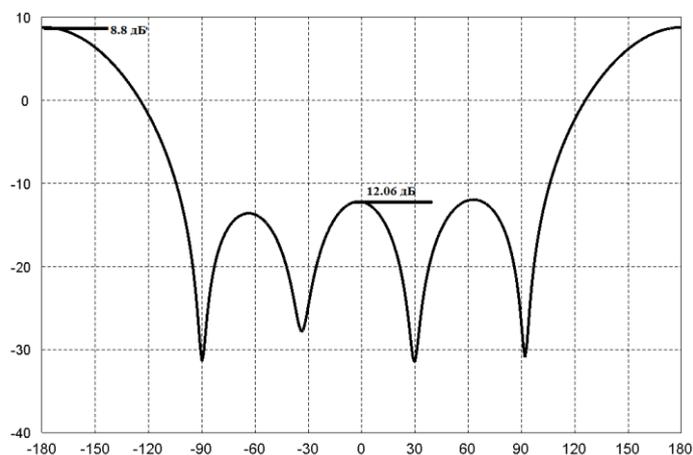


Рис. 1. ДН кольцевой антенны в E-плоскости

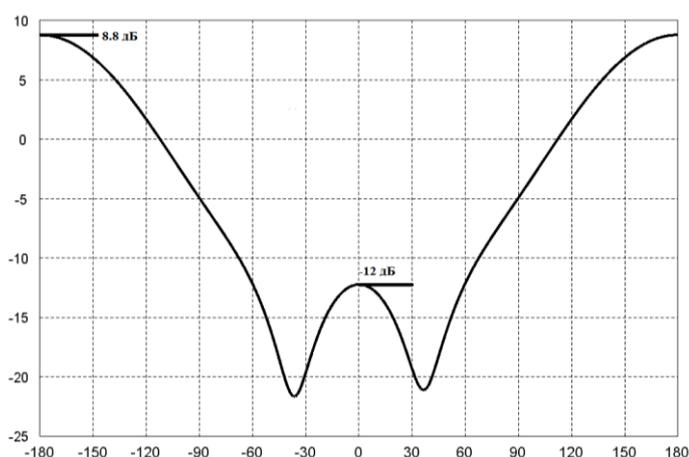


Рис. 2. ДН кольцевой антенны в H-плоскости

На рис. 3 изображены рабочая конструкция кольцевой антенны линейной горизонтальной поляризации и ее общий вид. Для уменьшения веса и парусности антенны ее рефлектор и металлический диск выполнены в виде металлической сетки, а кольцевой излучатель перфорирован. Излучатель и металлический диск крепятся друг к другу с помощью диэлектрических капролоновых вставок. Подвод питания антенны осуществляется коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом , который проходит через отрезок трубки, соединяющей металлический диск и рефлектор. Центральная жила кабеля соединена с внутренним краем кольцевого излучателя, а экран кабеля соединен с металлическим диском. Масса антенны - около $6,5 \text{ кг}$.

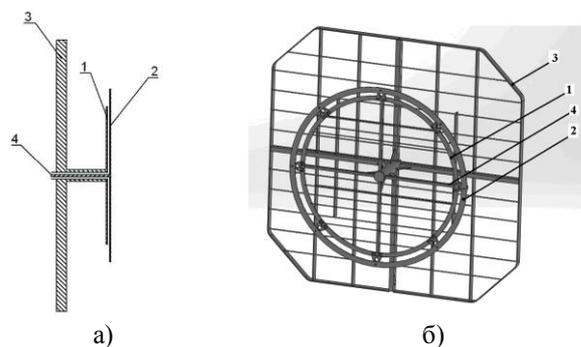


Рис.3. Кольцевая антенна (а) и ее общий вид (б): 1 - металлический диск, 2 - кольцевой излучатель, 3 - рефлектор, 4 - питающий коаксиальный кабель

Для усовершенствования выполнения наземных измерений антенны и минимизации погрешностей определения ее ДН и КУ (соответствующих условиям свободного пространства) из наземных измерений при наличии зеркального отражения от Земли была теоретически исследована задача приема [7]. В результате была предложена эквивалентная модель двухлучевого приема с приемными виртуальными антеннами, на основе которой была развита методика определения искомых параметров из измерений по методу двух идентичных антенн [8]. Исходя из этой модели приема, была выбрана оптимальная конфигурация расположения двух идентичных кольцевых антенн и проведены измерения по определению искомых ДН и КУ [5].

В конфигурации расстояние между идентичными кольцевыми антеннами превышало минимальное расстояние их дальней зоны в 2,5 раза. Отношение путей прямой и отраженной волн в выбранной конфигурации (см. рис. 4) составляет $r_0 / r \approx 0,35$, угол $\varphi_0 = 70^\circ$, а отношение коэффициентов усиления $KУ(70^\circ) / KУ(0^\circ) = -9 \text{ дБ}$ (0,126) согласно результатам их моделирования и предварительных оценочных измерений диаграмм направленности. Согласно теоретической оценке, погрешность в определении КУ, обусловленная отраженным лучом, составляла около 0,2 дБ, что меньше погрешности, обусловленной погрешностью Δr_0 установки расстояния между антеннами, которая при $\Delta r_0 = 0,15 \text{ м}$ равна 0,22 дБ. Отсчет измерений задавался n-кодером через шаг в $0,5^\circ$ при вращении антенны. Ширина ДН на уровне -3 дБ составляла 62° , уровень заднего лепестка -20 дБ, уровень кросс-поляризации -20 дБ. Расхождение результатов измерения и моделирования КУ оказалось не более 0,3 дБ.

Выбранная конфигурация расположения кольцевых антенн при измерениях методом двух идентичных антенн изображена на рис. 4. Фото их расположения представлено на рис. 5. Измеренная ДН антенны приведена на рис. 6.

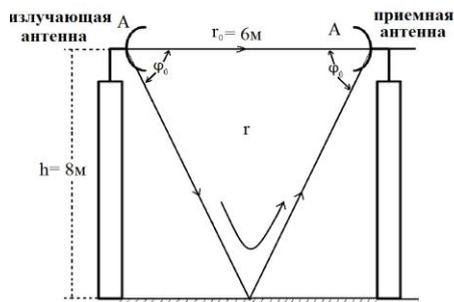


Рис. 4. Расположение антенн относительно друг друга и Земли



Рис. 5. Расположение антенн на вышках при измерении

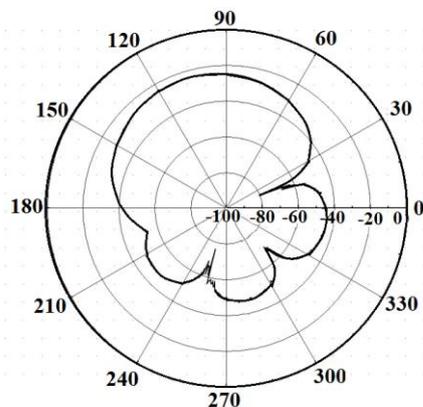


Рис. 6. Измеренная ДН антенны

Антенная решетка. Изготовленный макет решетки содержал два этажа излучателей из 24 кольцевых антенн: по 12 штук в каждом линейном ряду. Размеры макета составляли: по горизонтали – 17,7 м, по вертикали – 3,6 м. Возбуждение антенн в каждом этаже синфазное. Относительная малость продольного размера (0,2 м) антенн вдоль оси излучения использована для их сворачивания в горизонтальное положение при переводе антенной решетки в транспортное состояние. Для этого антенны нижнего этажа относительно антенн верхнего этажа смещены в вертикальной плоскости на расстояние 0,08 м. Фаза возбуждения антенн верхнего этажа такова, что с учетом этого смещения этажей она отстает на 90° от фазы возбуждения нижнего этажа. Амплитуды возбуждения обоих этажей одинаковы, однако в каждом этаже амплитудное распределение изменяется от центральных антенн к крайним согласно закону Дольфа-Чебышева для обеспечения низких УБЛ антенной решетки. Для осуществления расчетного амплитудного распределения были разработаны соответствующие делители мощности низкого уровня в полосковом исполнении (делители Вилкинсона) и делители мощности высокого уровня на коаксиальных кольцевых мостах.

Предварительные измерения ДН и КУ макета антенной решетки в режиме ее приема были выполнены облетным методом на территории летного поля. В качестве летательного аппарата использовали вертолет МИ8-МТВ. Для снижения погрешностей измерений, обусловленных влиянием корпуса и винта вертолета на ДН измерительного излучающего полуволнового вибратора, в [9] было предложено специальное устройство, размещаемое под днищем вертолета. Реализованное устройство представляет собой новую излучающую систему “вибратор-короб”. Короб имеет особую конструкцию и содержит поглотители электромагнитной энергии. Длина короба - около 2λ , ширина - около $1,5\lambda$, высота - $0,5\lambda$. Масса короба - менее 100 кг. Такой вес и заостренная с концов форма короба практически не влияют на аэродинамические характеристики вертолета. До измерения параметров антенной решетки было проведено измерение ДН и КУ излучающей системы “вибратор-короб” с использованием измеренной кольцевой антенны в качестве образцовой.

На рис. 7 изображено расположение короба вместе с вибратором относительно вертолета. На рис. 8 представлено фото вертолета с закрепленным под его днищем коробом. На рис. 9 приведено фото короба с вибратором при монтаже на вышку стенда, изображенного на рис. 5.



Рис. 7. Конфигурация системы “вертолет–короб–вибратор”



Рис. 8. Закрепленный под днищем вертолета короб



Рис. 9. Короб с полуволновым вибратором

На рис. 10 а, б приведены измеренные ДН системы “короб–вибратор”.

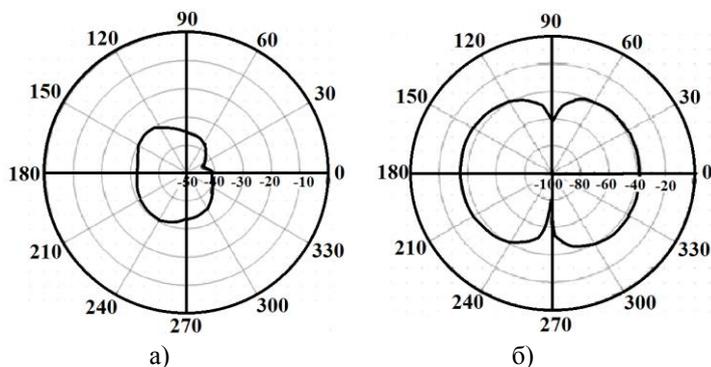


Рис. 10. Измеренные ДН полуволнового вибратора в сборе с коробом:
а - ориентация короба – вертикальная; низ короба – одно из его длинных ребер;
б - ориентация короба – горизонтальная, полуволновой вибратор сверху короба

На рис. 11 приведено фото изготовленного макета антенной решетки, смонтированного на летном поле для измерений.



Рис. 11. Макет антенной решетки на летном поле

Для определения параметров антенной решетки был разработан и использован способ измерений, выгодно отличающийся по стоимости затрат на их выполнение [10]. Способ основан на специальной программе вертикальных и горизонтальных полетов вертолета. При медленных вертикальном подъеме и спуске вертолета в дальней зоне антенной решетки измерялась угломестная (вертикальная) ДН в пределах углов $180...160^{\circ}$ и $0...20^{\circ}$ в верхней вертикальной плоскости, т.е. по заднему лепестку и в его окрестности, а также в наиважнейшем секторе углов

($0...20^0$) с точки зрения обнаружения ВО. Затем с помощью горизонтальных полетов вертолета в плоскости главного сечения вертикальной ДН на 6 высотных этажах (высота первого этажа полета – 20 м, а последнего 6-го этажа – 500 м) измерялась угломестная ДН в интервале углов $1...179^0$. По сути дела, это измерение, дублируя измерения ДН в наиважнейшем секторе углов ($0...20^0$), также дает информацию о “воронке” в области зенита, что тоже существенно для работы РЛС.

При измерениях угломестной ДН привязка координат (высота над Землей и горизонтальное удаление от антенной решетки) вертолета в полете с отсчетами соответствующих регистраций сигнала измерительным наземным комплексом осуществлялась синхронизацией работы GPS навигаторов, находящихся у оператора измерительного наземного комплекса и штурмана вертолета.

Азимутальная (горизонтальная) ДН в направлениях максимумов лепестков угломестной ДН измерялась при зависшем положении вертолета и вращении антенной решетки на 360^0 вокруг ее вертикальной оси. Отсчеты снимались через дискрет в $0,5^0$, задаваемый n-кодером привода вращения.

Предварительные результаты измерений макета модернизированной антенной решетки показали удовлетворительное совпадение с результатами ее моделирования (выполненного с использованием пакета программ ФЕКО 5.5) как по ширине главного лепестка ДН в азимутальной плоскости, так и по КУ, УБЛ и направлениям максимумов и минимумов лепестков угломестной ДН. На рис. 12 и 13 представлены результаты измерений ДН в угломестной и азимутальной плоскостях.

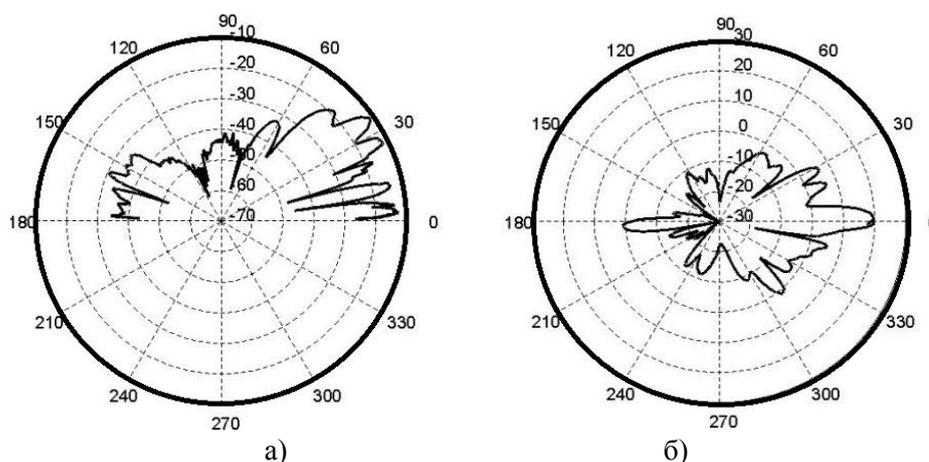


Рис. 12. ДН в угломестной плоскости (а), измеренная при горизонтальных полетах (сектор углов $1...179^0$); ДН в азимутальной плоскости (б), измеренная в направлении максимума первого лепестка угломестной ДН при зависшем вертолете

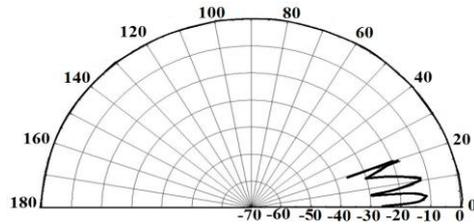


Рис. 13. ДН в вертикальной плоскости в секторе углов $0... 20^\circ$, измеренная при вертикальном полете вертолета

Выводы. В процессе модернизации антенной решетки РЛС диапазона УКВ в радиотехническом направлении выполнено следующее:

- разработан и реализован новый тип излучателя антенной решетки в виде кольцевой антенны, обладающий более приемлемыми радиотехническими и весогабаритными характеристиками по их совокупности;
- разработан и реализован макет антенной решетки, обладающий улучшенными радиотехническими параметрами и возможностью удобной и скоротечной компоновки сворачивания излучателей антенной решетки при переводе ее в транспортное положение;
- теоретически исследована задача двухлучевого приема в условиях зеркального отражения от Земли и предложена эквивалентная модель приема с виртуальными приемными антеннами;
- на основе упомянутого теоретического исследования разработана и реализована методика определения параметров излучателей антенной решетки из наземных измерений в более компактной по протяженности зоне и с минимизацией погрешностей определения искомых параметров;
- разработано и реализовано новое устройство, обеспечивающее повышенную точность измерений параметров антенной решетки облетным методом;
- разработан и реализован новый способ измерений облетным методом, обеспечивающий снижение затрат на выполнение измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Մարկոսյան Մ.Վ.** ՀՕՊ-ի գործերի տարաշարժունության մեծացման տեսանկյունից արդիական ռադարների ստեղծման որոշ հարցեր // Հանդես «Հայկական բանակ». – 2013.- 1-2 (75-76).- էջ 45-49:
2. **Фрадин А.З.** Антенно-фидерные устройства. - М.: Связь, 1977. – 440 с.
3. **Жук М.С., Молочков Ю.Б.** Проектирование антенно-фидерных устройств. – М.: Энергия, 1966. – 648 с.
4. **Айзенберг Г.З.** Антенны УКВ. – М.: Связь, 1977. – 384 с.
5. The measurements of parameters of UHF antenna array radiators / **M.V. Markosyan, V.H. Avetisyan, A.A. Novhannisyanyan, A.K. Aharonyan et al** // Proc. Intern. Conf. on Microwave and THz Technologies and Wireless Communication. - Yerevan, Armenia, October 16-17, 2012. - P. 156-161.

6. Արտոնագիր № 2508Ա, ՀՀ: ՄԻկրոշերտային անտենա / **Ա. Մահակյան, Մ. Մարկոսյան, Ա. Հովհաննիսյան:** - Առաջնության թվ. 18.01.2011: Հրատարակման թվ. 25.04.2011:
7. **Аветисян В.Г.** Эквивалентная модель двухлучевого приема при зеркальном отражении от Земли // Вестник ГИУА. Серия “Информационные технологии, электроника, радиотехника”. – 2013. - Вып. 16, №2. - С. 82-92.
8. **Avetisyan V.H., Sargsyan A.A.** On the measurements of UHF antenna parameters by two antennas technique // Proc. Intern. Conf. on Microwave and THz Technologies and Wireless Communication. - Yerevan, Armenia, October 16-17, 2012. - P. 149-155.
9. Արտոնագիր № 2803Ա, ՀՀ: Շրջաթիռ եղանակով վերգետնյա անտենայի պարամետրերի չափման սարք / **Մ. Մարկոսյան, Վ. Ավետիսյան, Ա. Հովհաննիսյան, Ա. Ահարոնյան, Ա. Մարգարյան:** - Առաջնության թվ. 23.05.2013: Հրատարակման թվ. 29.01.2014:
10. Արտոնագիր № 2814Ա, ՀՀ: Ուղղաթիռի միջոցով վերգետնյա անտենայի ուղղորդվածության դիագրամի չափման եղանակ / **Մ. Մարկոսյան, Վ. Ավետիսյան, Ա. Նիկողոսյան, Ա. Մարգարյան:** - Առաջնության թվ. 23.05.2013: Հրատարակման թվ. 25.02.2014:

Ереванский НИИ Средств связи, Институт Математики и Высоких Технологий РАУ. Материал поступил в редакцию 10.04.2014.

**Մ.Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Վ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ,
Ա.Կ. ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Ա.Ի. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Գ.Զ. ՍՈՒՂՅԱՆ**

**ՄԵՏՐԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՏԻՐՈՒՑԹԻ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՅԻՆՆ ԿԱՅԱՆԻ
ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՐԴԻԱԿԱՆԱՑՈՒՄ**

Ներկայացվում են մետրային ալիքների տիրույթի ռադիոլոկացիոն կայանի անտենային համակարգի արդիականացման հետազոտությունների արդյունքները և տեխնիկական լուծումները՝ ուղղված նրա ռադիոտեխնիկական պարամետրերը և շարժունակությունը բարձրացնելուն: Հետազոտվել են ռադիոտեխնիկական ուղղությամբ արդիականացման հարցերը:

Առանցքային բառեր. անտենային համակարգ, արդիականացում, ռադիոլոկացիոն կայան, մետրային ալիքների տիրույթ:

**M.V. MARKOSYAN, V.H. AVETISYAN, A.A. HOVHANNISYAN,
A.K. AHARONYAN, A.I. PETROSYAN, G.Z. SUGYAN**

**MODERNIZING THE ANTENNA SYSTEM OF A METER WAVEBAND RADAR
UNIT**

The results of investigations and technical solutions for modernizing the antenna system of a meter waveband radar unit aimed at increasing its radiotechnical parameters and mobility are presented. The issues of modernization in the sphere of radioengineering are investigated.

Keywords: antenna system, modernization, radar unit, meter waveband.