

М.В. МАРКОСЯН, В.Г. АВЕТИСЯН, А.А. МАНУКЯН, М.А. МОСЕСОВ,
В.Х. ТОНОЯН, А.Е. САРЬЯН, Р.М. ПЕТРОСЯН, Э.А. АРУТЮНЯН,
К.А. КАЗАРЯН

АНТЕННАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН

Описывается комплекс технических решений, направленных на значительное сокращение времени сворачивания (разворачивания) антенной системы радиолокационной станции диапазона метровых волн. Приведенные и реализованные решения для механики антенной системы и системы ее управления способствуют повышению мобильности радиолокационной станции.

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

Введение. В [1] обоснована необходимость мероприятий по повышению мобильности радиолокационной станции (РЛС) диапазона ультракоротких волн (УКВ) путем значительного сокращения времени сворачивания (разворачивания) ее антенной системы, а также показана взаимосвязь мероприятий радиотехнического и конструкторско-технологического планов.

Цель работы – представить конструкторско-технологические решения в механике антенной системы, охватывающей антенную решетку и антенно-мачтовое устройство, и в системе автоматического управления разворачиванием и сворачиванием антенной системы РЛС.

Рабочая антенная система. Антенная система РЛС содержит:

- антенную решетку;
- антенно-мачтовое устройство;
- подсистему энергоснабжения и автоматического управления.

Вся антенная система размещена на трехосной платформе контейнера стандартного трейлера. На рис.1 приведен фотоснимок антенной системы в рабочем состоянии на несущей платформе контейнера, а на рис. 2 - фотоснимок антенной системы в свернутом состоянии.

Регулируемые по высоте опоры платформы в количестве 6-и штук - четыре неподвижные и две выдвижные опоры (размах между ними 5,4 м), создают достаточные плечи, обеспечивающие устойчивое и стабильное состояние антенной системы при наличии моментов, обусловленных весовыми и ветровыми нагрузками в процессе эксплуатации. Горизонтирование платформы осуществляет специальная программно-аппаратная подсистема регулирования опор по высоте.

Задача перевода антенной системы РЛС в транспортное положение состоит в ее укладке в контейнер, имеющий длину 13,62 м, ширину 2,55 м и высоту 2,48 м. Поскольку горизонтальный размер антенной решетки составляет 17,7 м [1], общая горизонтальная ферма выполнена в виде двух составных складывающихся ферм длиной по 8,8 м каждая, что достаточно для размещения решетки в сложенном состоянии по длине контейнера. Деление общей фермы на более чем две части нецелесообразно с точки зрения увеличения ширины сборной фермы и усложнения ее конструкции дополнительными узлами.



Рис. 1. Фотоснимок смонтированной на платформе антенной системы



Рис. 2. Фотоснимок антенной системы в свернутом состоянии

Антенная решетка. Основными составными узлами антенной решетки являются центральная секция и две складывающиеся фермы излучателей антенной решетки. Фермы закреплены к бокам центральной секции с помощью осей. Перечисленные основные узлы показаны на фотоснимке, приведенном на рис. 3.

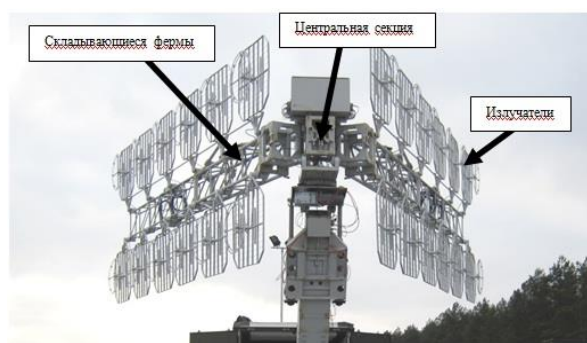


Рис. 3. Фотоснимок антенной решетки

Фермы изготовлены из стальных труб круглого сечения для уменьшения аэродинамического сопротивления и обледенения [2 - 4]. Каждая ферма состоит из двух этажей излучателей в виде кольцевых антенн [5] по 12 штук в каждом

линейном ряду этажа, а каждый излучатель имеет держатель 1 (см. рис. 4) с шарнирной опорой 2, закрепленной на ферме. Вертикальный рабочий габаритный размер фермы с антеннами составляет 3,6 м. В верхней части центральной секции размещен верхний электрошкаф подсистемы энергоснабжения и автоматического управления, обеспечивающий автоматическое сворачивание (разворачивание) антенн и ферм с помощью соответствующих актуаторов.

Держатели группы из 6-и антенн каждого этажа фермы соединены между собой горизонтальной тягой 3, чье горизонтальное смещение осуществляется актуатором 4 укладки антенн в горизонтальное положение при переводе антенной системы в транспортное состояние. Возможность такой укладки антенн обеспечивается смещением в 0,08 м (в вертикальной плоскости) антенн нижнего ряда относительно антенн верхнего ряда. При уложенном состоянии антенн вертикальный габаритный размер фермы равен 2,1 м, что меньше высоты контейнера и позволяет укладку в него сложенных ферм антенной решетки.

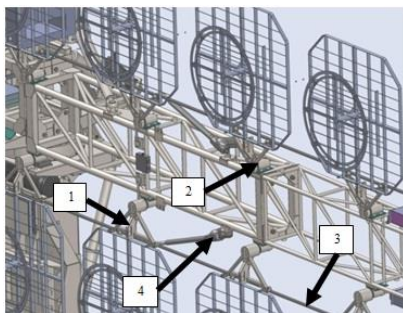


Рис. 4. Фрагмент фермы антенной решетки

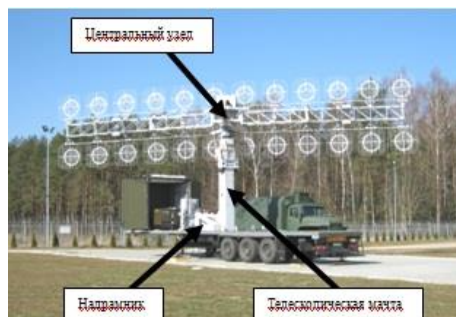


Рис. 5. Основные составные единицы антенно-мачтового устройства

Четыре актуатора тяг групп из 6-и антенн и делители высокочастотной мощности низких уровней с соответствующими фидерами размещены на составных фермах антенной решетки. Делители же высокочастотной мощности высоких уровней размещены в центральной секции. На ней также установлены актуаторы сворачивания (разворачивания) составных ферм. Для снятия ветровых нагрузок на актуаторы в рабочем развернутом положении решетки фермы снабжены электромеханическими фиксаторами [6, 7].

Антенно-мачтовое устройство. На фотоснимке (см. рис. 5) указаны основные составные единицы антенно-мачтового устройства. Это его основание – надрамник, телескопическая мачта, которая закреплена к надрамнику двумя шарнирными узлами на подшипниках, два соответствующих актуатора для приведения телескопической мачты из транспортного горизонтального положения в рабочее вертикальное положение и наоборот, а также центральный узел, находящийся под центральной секцией антенной решетки.

Привод выдвижной внутренней трубы телескопической мачты обеспечивает расположение центра симметрии антенной решетки на высотах от 6,5 до 9,7 м с дискретом 0,8 м. В каждом положении внутренняя верхняя труба телескопической мачты фиксируется клиновым фиксатором. Выдвижение внутренней трубы мачты осуществляется с помощью тросовой системы от лебедки, расположенной на внешней поверхности нижней наружной трубы. На ее внутренней поверхности закреплены специальные направляющие, вдоль которых выдвигается внутренняя труба. Во внутренней полости мачты расположена металлическая кабельная цепь, обеспечивающая правильную и безопасную укладку радиочастотных кабелей и кабелей электропитания в процессе выдвижения внутренней трубы мачты [8].

Центральный узел антенно-мачтового устройства изображен на рис. 6.

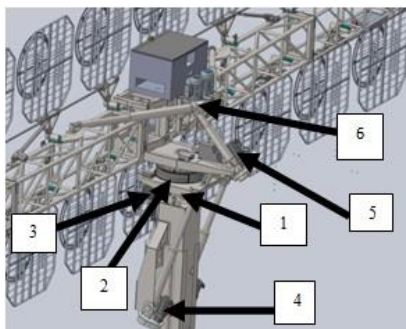


Рис. 6. Центральный узел антенно-мачтового устройства и центральная секция антенной решетки

Основой центрального узла служит азимутальная платформа 1. На азимутальной платформе размещены главный подшипник 2, электродвигатель азимутального привода 3, коллектор электрических цепей, радиочастотный вращающийся переход, азимутальный n-кодер. Актуаторы 4 обеспечивают горизонтальность платформы. Инклинометр производит отсчет текущего значения угла отклонения плоскости азимутальной платформы от перпендикулярности относительно вертикальной оси мачты.

Азимутальный привод с частотным управлением обеспечивает азимутальное вращение антенной решетки со скоростями в интервале (3...6) об/мин, а также плавные режимы разгона и остановки ее вращения на телескопической мачте.

Движение актуаторов 4 горизонтальности азимутальной платформы в процессе сворачивания или разворачивания программно синхронизировано с движением актуаторов подъема нижней трубы телескопической мачты.

Корректировка и контроль положения антенной решетки по углу места осуществляются n-кодером угла места и соответствующим актуатором 5, обеспечивающим заданное угломестное положение решетки в интервале углов от -5° до $+15^\circ$. Позицией 6 обозначены актуаторы ферм.

Подсистема энергоснабжения и автоматического управления. Подсистема содержит два дизель-генератора автономного питания (рабочий и резервный) и нижний электрошкаф управления и контроля, размещенные на платформе контейнера. В состав этой подсистемы входит также расположенный в верхней части центральной секции антенной решетки верхний электрошкаф управления и контроля. Эти единицы указаны на рис. 7.



Рис. 7. Основные единицы подсистемы энергоснабжения и автоматического управления

Комплекс управления антенной системой представляет собой сложную программно-аппаратную реализацию, обеспечивающую автоматическое синхронное функционирование всех механизмов антенной системы и их контроль. Процессы сворачивания (разворачивания) излучателей и ферм антенной решетки, их фиксации, горизонтирования установки антенной решетки, а при необходимости, корректировки ее рабочего положения по углу места обеспечиваются верхним электрошкафом и его контроллером. Нижний электрошкаф и его контроллер обеспечивают процесс азимутального вращения антенной решетки с заданной скоростью и в заданном режиме, процесс установки телескопической мачты антенной системы из транспортного положения в рабочее и наоборот, а также процесс подъема антенной решетки на заданную рабочую высоту и ее фиксацию. Разработанное программное обеспечение позволяет диагностировать состояние всех узлов, положения датчиков и выдавать соответствующие команды на исполнение. В качестве протокола обмена данными между контроллерами выбран «CANOPEN», позволяющий повысить надежность обмена данных на относительно большие расстояния.

Структура управления предусматривает два режима – автоматический режим по принципу “с одной кнопки” и ручной режим, обеспечивающий автономное управление каждым механизмом.

Пульт оператора представляет собой терминал, содержащий кнопки управления и информационное табло, на котором высвечиваются необходимые световые и словесные подсказки. Пульт управления изображен на рис. 8.

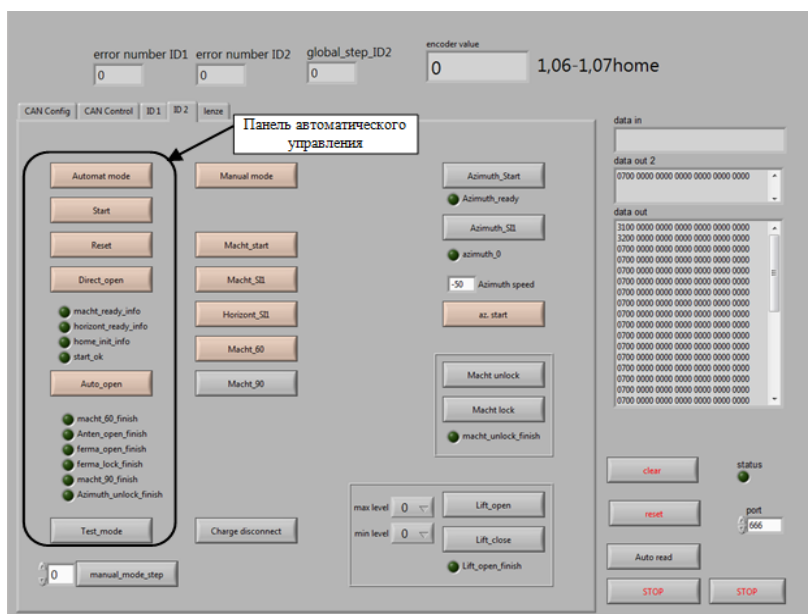


Рис. 8. Пульт управления

Этапы автоматического разворачивания и сворачивания антенной системы. На рис. 9 - 14 представлен процесс автоматического разворачивания антенной системы, состоящий из 6-и последовательных этапов при их следующих конечных состояниях:

- первый этап - тент контейнера трейлера сложен, опоры платформы контейнера приведены в рабочее положение; максимальная продолжительность – 5 мин;
- второй этап - телескопическая мачта антенной системы поднята и составляет угол 60° относительно горизонта; продолжительность подъема – 2 мин 11 с;
- третий этап – излучатели антенной решетки развернуты и приведены в рабочее вертикальное состояние; продолжительность – 56 с;
- четвертый этап - фермы антенной решетки развернуты в рабочее состояние и зафиксированы; продолжительность – 3 мин 7 с;
- пятый этап - телескопическая мачта поднята в рабочее вертикальное положение; продолжительность - около 1 мин;

- шестой этап – антенная решетка поднята на требуемую высоту, и начинается ее азимутальное вращение; максимальная продолжительность – 3 мин;

Этапы автоматического сворачивания выполняются в обратном порядке. Общее максимальное время разворачивания (сворачивания) составляет 15 мин.

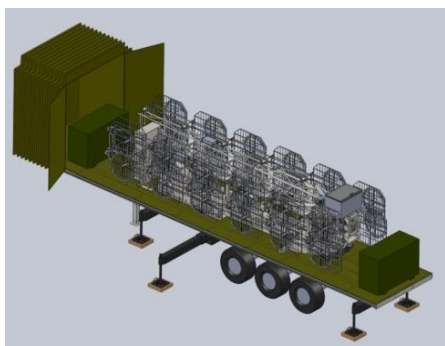


Рис. 9. 1-й этап

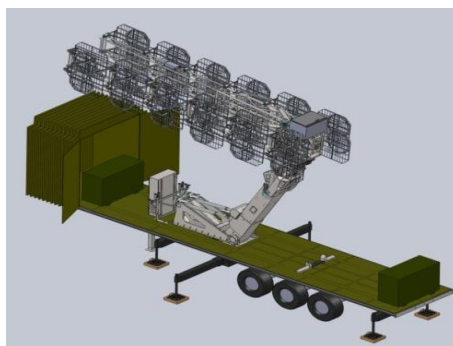


Рис. 10. 2-й этап

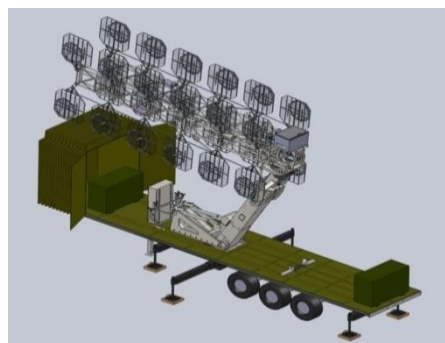


Рис. 11. 3-й этап

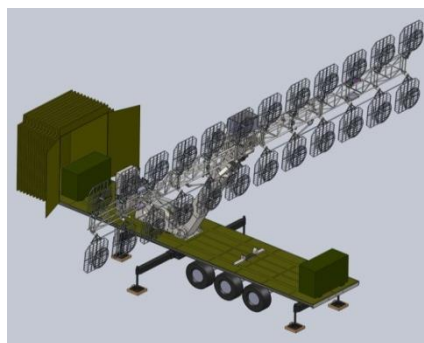


Рис. 12. 4-й этап

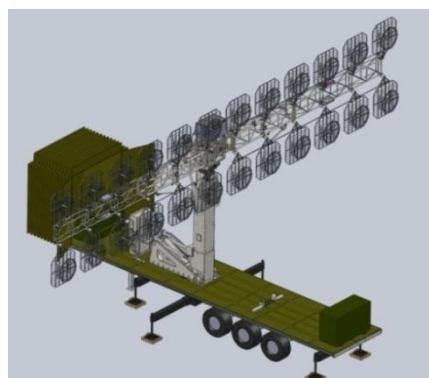


Рис. 13. 5-й этап

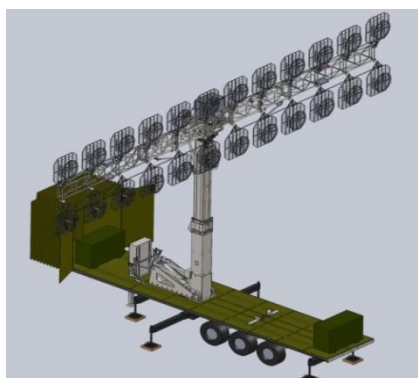


Рис. 14. 6-й этап

Краткий обзор по проектированию конструкций антенной системы.

Для всех основных конструкций выполнены моделирование и расчеты по выбору материалов и определению прочности и жесткости при реальных условиях работы. Это - воздействия весовых нагрузок, нагрузок при транспортировке, ветровых нагрузок при скорости ветра до 40 м/с и толщине обледенения до 10 мм, а также учет динамических и аэродинамических характеристик конструкций при азимутальном вращении антенной решетки со скоростью 6 об/мин. Расчеты были произведены по программе Solid Works 2012, Solid Works Flow Simulation CO-ADAPCO STAR –CCM+ [2, 9 - 12].

На этапе проектирования антенной системы, при сравнительном анализе с целью выбора принципа работы приводов, выбор был сделан в пользу электро-механических актуаторов, как более надежных, менее сложных и дешевых по сравнению с гидравлическими или пневматическими [13]. В процессе моделирования всей системы были определены требуемые мощности электро-механических актуаторов и точки их опор. Спроектированные и изготовленные актуаторы снабжены шариковинтовыми передачами, сервомоторами, датчиками обратной связи, датчиками температуры и тормозом. Они имеют высокий КПД и обеспечивают высокоточное движение с программным управлением [2, 14 - 19].

Выводы

Для повышения мобильности РЛС диапазона УКВ предложены конструктивно-технологические решения при реализации:

- телескопического мачтового устройства;
- заданной установки антенной решетки по высоте и углу места;
- азимутального вращения в заданном режиме;
- компактного сворачивания и разворачивания излучателей антенной решетки;
- надежного сворачивания и разворачивания самой антенной решетки;
- программно-электронного автоматического управления процессом сворачивания и разворачивания антенной системы в целом.

Таким образом, предпринятые и приведенные в [1] мероприятия радиотехнического плана и описанный комплекс технических решений настоящей работы привели, с одной стороны, к созданию РЛС диапазона УКВ с улучшенными радиотехническими параметрами антенной решетки по сравнению с прототипом; с другой стороны, при такой РЛС, имеющей автоматизированную систему синхронного управления механизмами антенной системы, время перевода РЛС с транспортного положения в рабочее и наоборот сокращается, как минимум, в 6...7 раз.

В результате реализованная РЛС обладает лучшими тактико-техническими характеристиками, возможностью ее эксплуатации при сокращенной численности обслуживающего персонала и, что весьма существенно, значительно повышенной мобильностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модернизация антенной системы радиолокационной станции диапазона метровых волн / **М.В. Маркосян, В.Г. Аветисян, А.А. Оганесян** и др. // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2014.- Т. 67, № 2.- С. 173-182.
2. **Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б.** Расчет на прочность деталей машин: Справочник.- 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1993.- 640 с.
3. **Гохберг М.М.** Металлические конструкции подъемно-транспортных машин.- М.: Машиностроение, 1969.- 520 с.
4. **Давыдов Е.Ю.** Проектирование ферм из круглых и прямоугольных труб.- Минск: БГПА, 2000.-128 с.
5. The measurements of parameters of UHF antenna array radiators / **M.V. Markosyan, V.H. Avetisyan, A.A. Hovhannisyan et al** // Proc. Intern. Conf. on Microwave and THz Technologies and Wireless Communication. -Yerevan, Armenia, October 16-17, 2012. - P. 156-161.
6. **Орлов П.И.** Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. П.Н. Учаева.- Изд. 3-е, испр.- М.: Машиностроение, 1988.- 560 с.
7. **Орлов П.И.** Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2/Под ред. П.Н. Учаева.- Изд. 3-е, испр.- М.: Машиностроение, 1988.-544 с.
8. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.2.- 9-е изд., перераб. и доп./Под ред. И.Н. Жестковой.- М.: Машиностроение, 2006.- 960 с.
9. **Алямовский А.А.** COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010.-784с. (Серия “Проектировщик”).
10. **John D. Anderson.** Fundamentals of Aerodynamics. - Mcgraw Hill Series in Aeronautical and Aerospace Engineering, 2010. - 1152 p.
11. **Jack Moran.** An Introduction to Theoretical and Computational Aerodynamics. - Dover Books on Aeronautical Engineering, 2010.- 480 p.
12. **Kishor C. Mehta, William L. Coulbourne.** Wind Loads Guide to the Wind load Provisions of ASCE 7-10. - American Society of Civil Engineers, 2013.- 186 p.
13. **Навроцкий К.Л.** Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. - М.: Машиностроение, 1991.- 384с.
14. Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов / **С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов и др.**- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 2004.-560 с.
15. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986.- 656 с.
16. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986.- 496 с.
17. **SKF Catalogue 6000 EN 2005 (www.skf.com).**
18. **Стали и сплавы. Справочник:** Справ.изд./ **В.Г. Сорокин и др.;** Науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001.- 608 с.
19. **HIWIN Catalogue 2010 Form S99TE 16-1003 (www.hiwin.com.tw)**

Ереванский НИИ Средств связи, Институт Математики и Высоких Технологий Российско–Армянского (Славянского) университета. Материал поступил в редакцию 10.04.2014.

Մ.Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ, Վ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ,
Մ.Ա. ՄՈՍԵՍՈՎ, Վ.Խ. ՏՈՆՈՅԱՆ, Ա.Ե. ՍԱՐՅԱՆ, Ռ.Մ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ,
Է.Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Կ.Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

**ՄԵՏՐԱՅԻՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ՇԱՐԺՈՒՆԱԿ ՌԱԴԻՈԼՈԿԱՅԻՈՆ
ԿԱՅԱՆԻ ԱՆՏԵՆԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳ**

Նկարագրվում է տեխնիկական լուծումների համալիրը՝ ուղղված մետրային ալիքների տիրույթի ռադիոլոկացիոն կայանի անտենային համակարգի բացազատման (հավաքման) ժամանակի զգալի կրճատմանը: Բերված և իրականացված լուծումները նպաստում են անտենային համակարգի մեխանիկայի և նրա կառավարման համակարգի ռադիոլոկացիոն կայանի շարժունակության բարձրացմանը:

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

**M.V. MARKOSYAN, V.H. AVETISYAN, A.A. MANUKYAN, M.A. MOSESOV,
V. Kh. TONOSYAN, A.E. SARYAN, R.M. PETROSYAN,
E.A. HARUTUNYAN, K.A. GHAZARYAN**

THE ANTENNA SYSTEM OF METER WAVEBAND MOBILE RADAR

The complex of technical solutions aimed at a significant decrease in the clotting (setup) time of meter waveband radar antenna system is described. The presented and realized solutions for the mechanics of the antenna system and its control system promote the increase in radar mobility.

Keywords: antenna system, radar, meter waveband.