

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ В КАЧЕСТВЕ ОБЛУЧАТЕЛЯ КОЛЛИМАТОРА

Р.В. Гильмутдинов * ¹, Н.Л. Меньших¹, В.С. Солосин¹, С.А. Фёдоров¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, Москва, Россия

Статья поступила в редакцию 15.11.2023
Одобрена после рецензирования 21.12.2023
Принята к публикации 28.12.2023

Аннотация

В данной работе исследована возможность применения широкополосных антенн в качестве облучателей зеркальных коллиматоров. Было рассмотрено два типа облучателей (исходный и модифицированный) на базе широкополосной антенны Satimo SH2000. Создана приближенная компьютерная модель компактного полигона с рефлектором МАРК-12. Методом физической оптики рассчитано поле в рабочей зоне. Было проведено сравнение характеристик поля, полученных при использовании разных облучателей. Исследован вклад плавно меняющейся составляющей поля в неравномерность распределения поля. Описана зависимость неравномерности амплитуды и фазы от частоты. Показано, что применение облучателя с модифицированной диаграммой направленности позволяет уменьшить неравномерность амплитуды поля в рабочей зоне во всей полосе частот и сохранить приемлемую неравномерность фазы.

Ключевые слова: компактный полигон, ФЕКО, облучатель, зеркальный коллиматор, рабочая зона

EDN HGDWGX

doi:10.24412/2949-0553-2023-57-23-29

1. Введение

Компактный полигон (КП) [1] представляет собой измерительный комплекс, обеспечивающий физическое моделирование процессов рассеяния и излучения электромагнитных волн в широкой полосе частот при фиксированном размере рабочей зоны. Основной характеристикой измерительных стендов, во многом определяющей точность проводимых на нем измерений, является неравномерность распределения электромагнитного поля в рабочей зоне.

Существуют различные способы уменьшения неравномерности распределения амплитуды и фазы поля. Качество распределения поля в рабочей зоне определяется в основном коллиматором, облучателем и безэховой камерой. Целый ряд работ посвящен уменьшению дифракционных эффектов на краях зеркального коллиматора. Предлагается выполнить кромку зеркала в виде зубцов [2] или плавного отгиба края [3] для обеспечения плавного перехода к свободному пространству. Описано применение криволинейных зубцов [4], позволяющих при тех же размерах уменьшить вклад дифракционных эффектов от краев коллиматора.

Особое внимание при разработке измерительного комплекса на основе КП уделяется облучателям коллиматора [5]. Самыми распространенными облучателями коллиматора являются гофрированные рупоры [6]. В работе [7] представлен расфазированный рупор со скосом апертуры. Использование данного рупора позволяет увеличить размеры рабочей зоны коллиматора МАК-5М на 25% в диапазоне частот 10-12 ГГц. В работе [8] представлен облучатель в виде плоской антенной решетки, позволяющий проводить антенные измерения. Использование рупорных антенн как одних из наиболее распространенных типов облучателей коллиматора рассмотрено в [9].

* Автор, ответственный за переписку: Руслан Валерьевич Гильмутдинов, psevduch777@gmail.com

Для уже разработанных и действующих стендов всегда актуальны вопросы увеличения размеров рабочей зоны, расширения рабочей полосы частот или повышения качественных характеристик измерительного стенда.

Целью настоящей работы является разработка модификации облучателя коллиматора МАРК-12, обеспечивающей меньшую неравномерность распределения квазишляского поля в рабочей зоне, по сравнению с облучателем в исходном виде в широкой полосе частот.

Постановка задачи

В работах [5–7] сформулированы основные требования, предъявляемые к облучателям коллиматоров. При этом рупорные антенны [9] лишь частично удовлетворяют поставленным требованиям.

Ранее нами была модифицирована широкополосная антенна Satimo SH2000 [10] для формирования диаграммы направленности (ДН) специальной формы. Предлагается использовать данную антенну в качестве облучателя коллиматора МАРК-12. На рисунке 1 показаны ДН антенны Satimo SH2000 и её модификации в главных плоскостях. В Н-плоскости уровень «полочки» (область углов с примерно постоянным значением амплитуды) стал выше. Форма ДН во всем исследуемом диапазоне частот (8 – 18 ГГц) стала куполообразной. В секторе углов до 15 градусов ДН в Е-плоскости стала шире в исследуемом диапазоне частот, а вне этого сектора наблюдается резкое спадание.

Можно отметить, что полуширина ДН модифицированной антенны по уровню 1 дБ составляет не менее 9° , и по уровню -1.5 дБ составляет не менее 13° . Также наблюдается резкое снижение амплитуды при углах больше 20 градусов. Такая форма ДН ближе к требуемой для облучателей зеркала коллиматора МАРК-12.

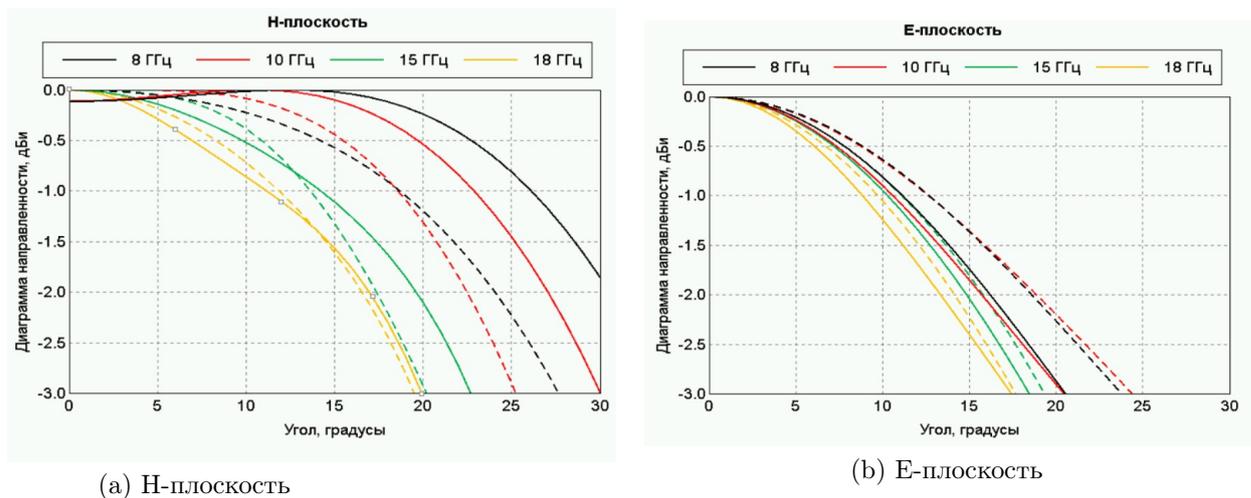


Рисунок 1 – Сечения ДН исходной антенны Satimo SH 2000 (Сплошные кривые) и модифицированной (пунктирные кривые)

Рассчитывались поля, полученные при облучении коллиматора широкополосной антенной и специально разработанным облучателем [10] в широкой полосе частот (8 – 18 ГГц) с целью исследования возможности уменьшения неравномерности плавно меняющейся составляющей поля (taper) в рабочей зоне за счет изменения ДН.

Моделирование

На рисунке 2 изображена типовая схема КП. Ключевые элементы КП: коллиматор, облучатель, безэховая камера (БЭК), микроволновое измерительное оборудование (РНА), опорно-поворотное устройство (пилон).

Для расчета характеристик поля в рабочей зоне была создана упрощенная электродинамическая модель КП. Для формирования квазишляской волны используется зеркало коллиматора МАРК-12 (характеристики подробно описаны в [11]), установленного в КП ИТПЭ РАН [1]. Фокусное расстояние данного коллиматора - 12 метров. Рабочая зона представляет собой горизонтально расположенный цилиндр диаметром 6 метров. Центр рабочей зоны расположен на расстоянии 24 метра. В качестве облучателей используются антенны, описанные выше, размещенные под углом места 30° - направление на центр зеркала.

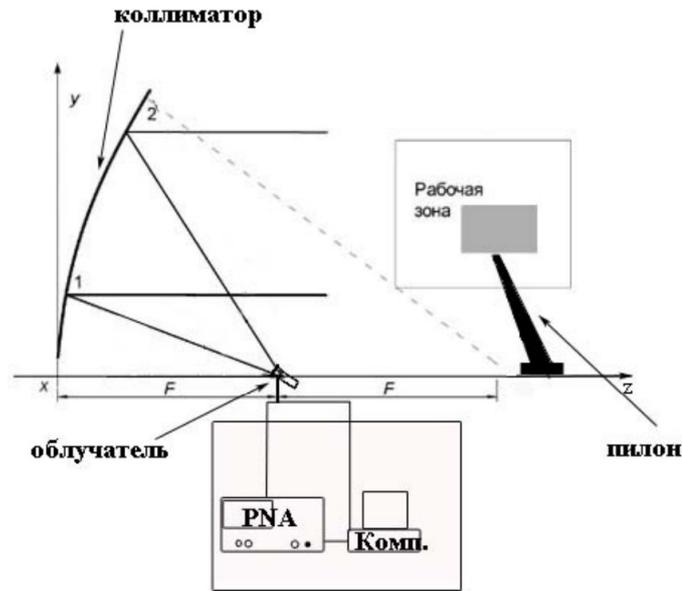


Рисунок 2 – Схема КП

Так как КП большое и сложное устройство, электродинамическое моделирование осуществляется с учетом нескольких факторов.

1) Рассматривается так называемое “идеальное” зеркало, то есть не учитываются отклонения поверхности зеркала от поверхности параболоида вращения. Ранее было показано [1], что имеющаяся неидеальность поверхности зеркала, не превышающая $1/100$ длины волны не оказывает существенного влияния на неравномерность поля в рабочей зоне.

2) В данной работе не учитывается влияние стен, потолка и пола БЭЖ, поскольку мы исследуем только влияние ДН и формы коллиматора на медленно меняющуюся компоненту поля, а также влияние дифракционных эффектов на краях зеркала на быстро меняющуюся компоненту поля.

На рисунке 3 изображена компьютерная модель КП в программном комплексе для электродинамического моделирования FEKO. Точечный источник с ДН облучателя находится в фокусе зеркала. Расчет поля выполнен в сечении, расположенном в центре рабочей зоны, методом физической оптики. Рассчитывается только поле, рассеянное зеркалом коллиматора.

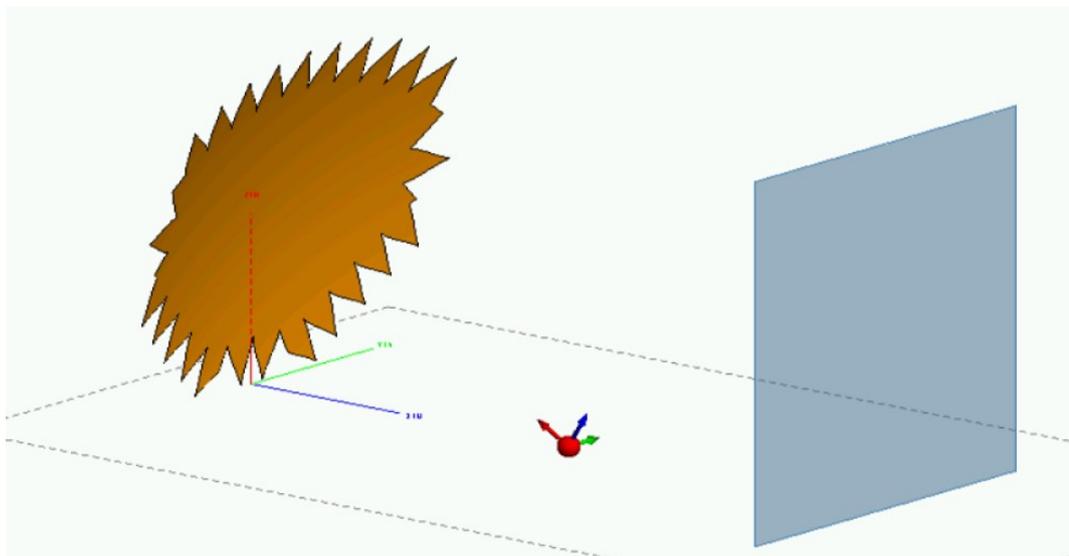


Рисунок 3 – Модель КП, построенная в программе FEKO

Результаты расчетов поля в рабочей зоне

На рисунке 4 изображены результаты численного моделирования поля в центральном срезе рабочей зоны для антенны в исходном виде и модификации на частоте 8,2 ГГц, при Н-поляризации. ДН исходной антенны имеет «полочку», из-за чего амплитуда поля распределена несимметрично, наблюдается сильная дифракция на краях зеркала. В тоже время применение модифицированного облучателя позволяет существенно увеличить размер рабочей зоны по уровню -2дБ.

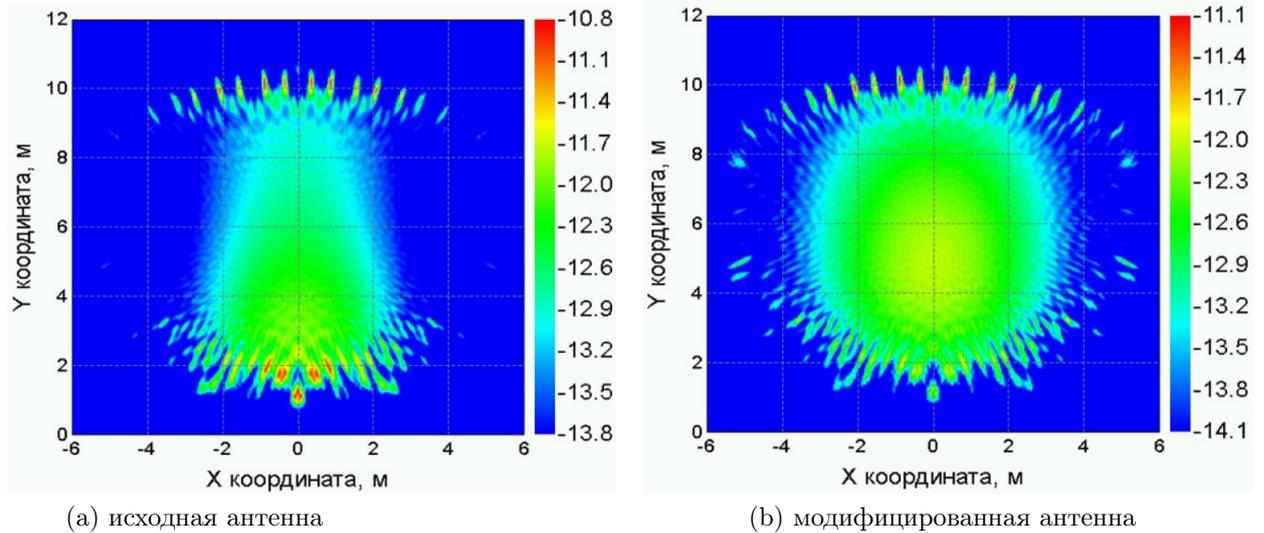


Рисунок 4 – Распределение амплитуды поля в центре рабочей зоны при Н-поляризации, частота 8,2 ГГц

На рисунке 5 изображены результаты численного моделирования распределения поля в рабочей зоне на частоте 18 ГГц для антенны в исходном виде и модифицированной. Наблюдается выравнивание распределения амплитуды поля.

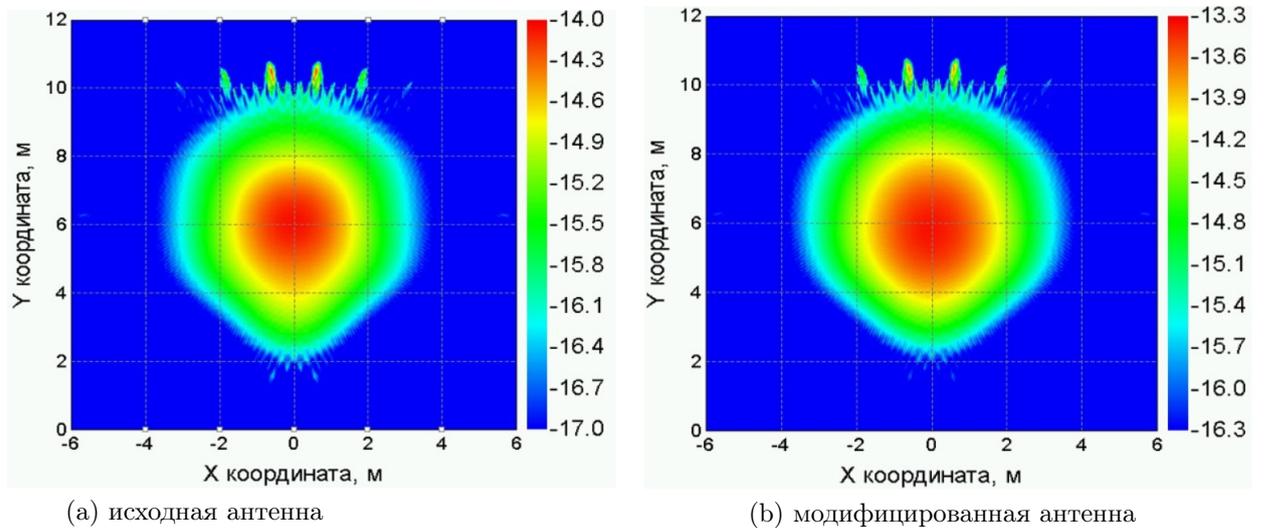


Рисунок 5 – Распределение амплитуды поля в центре рабочей зоны при Н-поляризации, частота 18 ГГц

На рисунке 6 изображены значения фазы рассчитанного поля в рабочей зоне на частоте 18 ГГц для антенны в исходном и модифицированном виде. Наблюдается незначительное изменение распределения фазы поля.

Поскольку ширина ДН антенны в исходном и модифицированном виде монотонно убывает с ростом частоты, то и распределение плавно меняющейся составляющей поля в рабочей зоне изменяется монотонно. В таблицах 2 и ?? описаны значения неравномерностей распределения амплитуды и фазы поля в рабочей зоне диаметром 4, 5 и 6 метров для 5 частот в полосе 8-18 ГГц и обеих поляризации. С ростом частоты неравномерность поля увеличивается при использовании обоих облучателей. Можно отметить, что применение специально разработанного облучателя уменьшило неравномерность амплитуды поля во всем частотном диапазоне для обеих поляризаций. Неравномерность фазы не превышает 11,2 градуса независимо от типа облучателя.

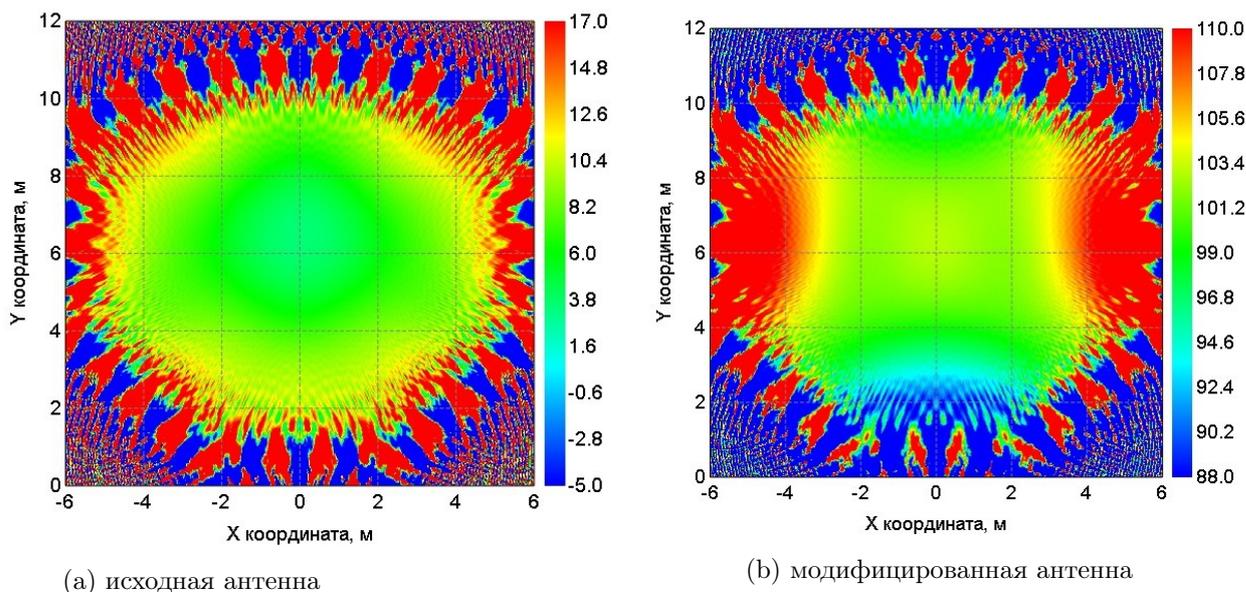


Рисунок 6 – Распределение фазы поля в центре рабочей зоны при V-поляризации, 18 ГГц

Таблица 1 – Неравномерность распределения поля при H-поляризации

Облучатель	Частота	Амплитуда, дБ			Фаза, градусы		
		4 м	5 м	6 м	4 м	5 м	6 м
Исходная антенна	8,2	1,27	1,74	2,37	3,37	4,34	6,07
Модифицированная антенна		0,82	1,11	1,53	3,87	5,33	7,08
Исходная антенна	10,0	1,33	1,77	2,29	1,79	2,27	3,26
Модифицированная антенна		0,92	1,26	1,66	3,55	5,05	6,55
Исходная антенна	12,4	0,99	1,32	1,86	2,39	2,71	3,62
Модифицированная антенна		0,83	1,09	1,57	2,72	4,24	6,53
Исходная антенна	15,0	0,94	1,46	2,13	2,53	4,16	6,03
Модифицированная антенна		0,89	1,36	2,04	3,04	4,57	8,43
Исходная антенна	18,0	1,10	1,64	2,19	4,44	6,24	8,10
Модифицированная антенна		0,92	1,41	2,07	2,49	4,95	7,12

Таблица 2 – Неравномерность распределения поля при V-поляризации

Облучатель	Частота	Амплитуда, дБ			Фаза, градусы		
		4 м	5 м	6 м	4 м	5 м	6 м
Исходная антенна	8,2	0,96	1,35	1,87	2,93	3,72	5,38
Модифицированная антенна		0,77	1,09	1,51	3,95	5,61	7,61
Исходная антенна	10,0	0,95	1,38	1,87	2,05	2,76	3,67
Модифицированная антенна		0,75	1,10	1,50	3,40	5,33	7,38
Исходная антенна	12,4	0,78	1,11	1,49	2,64	3,02	3,87
Модифицированная антенна		0,71	1,00	1,34	3,64	5,70	7,91
Исходная антенна	15,0	0,83	1,36	1,93	2,57	3,58	4,81
Модифицированная антенна		0,79	1,19	1,76	4,27	6,27	8,81
Исходная антенна	18,0	1,16	1,66	2,21	4,00	5,34	6,63
Модифицированная антенна		0,94	1,43	2,04	3,96	6,20	10,29

5. Заключение

В работе рассмотрена система облучатель – коллиматор, предназначенная для формирования квазиплоского поля. Было проведено численное моделирование распределения полей в рабочей зоне коллиматора МАРК-12 в широкой полосе частот. Определен вклад в неравномерность поля, обусловленный медленно меняющейся составляющей поля.

Показано, что применение модифицированного облучателя существенно уменьшает неравномерность распределения поля в рабочей зоне в диапазоне 8,2-12,4 ГГц и несколько уменьшает неравномерность в диапазоне 15-18 ГГц. Таким образом, модифицированную антенну можно использовать в качестве широкополосного облучателя для коллиматора МАРК-12.

Полученное квазиплоское поле имеет неравномерность распределения амплитуды 1.5 дБ в пятиметровой рабочей зоне и 1 дБ в четырехметровой рабочей зоне. Причем неравномерность фазы составляет не более $\pi/16$ в шестиметровой зоне.

Список литературы

- [1] Балабуха Н.П., Зубов А.С., Солосин В.С. Компактные полигоны для измерения характеристик рассеяния объектов. М.: Наука, 2007. 266 с.
- [2] I. J. Gupta, K. P. Erickson, W.D. Burnside. A Method to Design Blended Rolled Edges for Compact Range Reflectors. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. V. 38, No. 6, June 1990.
- [3] Shaohui Quan. Compact Range Performance Evaluation Using Aperture Near-Field Angular Spectrums. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, V. 61, No. 5, May 2013.
- [4] J. Hartman, D. Fasold. Advanced Serration Design for Compact Range with UDT // AMTA Conference 2000, pp.460-465.
- [5] Knott E.F., Shaeffer J.F., Tuley M.T. Radar cross section. Boston: SciTech Publishing, 1993, second edition, 477 p.
- [6] Olver A.D., Xiang J. Design of profiled corrugated horns. // IEEE Trans. on Anten. and Prop. – July 1988. - V. 36, N. 7.
- [7] Балабуха Н.П., Меньших Н.Л., Солосин В.С. Расфазированный рупорный облучатель с изломом образующей и со скосом апертуры для коллиматора МАК-5М. Журнал Радиоэлектроники, 2016, № 6.
- [8] K. Miyata, "A 12 GHz-band planar waveguide array antenna for compact range application-a preliminary study,"in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 44, no. 4, pp. 588-589, April 1996, doi:10.1109/8.489312.
- [9] Milligan T. Modern antenna design. 2nd ed. Wiley: New Jersey. 2005. 614p.
- [10] Гильмутдинов Р.В., Меньших Н.Л., Солосин В.С., Федоров С.А. Формирование диаграммы направленности широкополосной антенны для использования её в качестве облучателя. Современная электродинамика, №4 (6), август-сентябрь 2023, стр. 30-37.
- [11] Балабуха Н.П., Булычев Е.В., Зубов А.С., Меньших Н.Л., Солосин В.С., Федоров С.А. Оценка влияния неидеальности поверхности зеркала коллиматора МАРК-12 на распределение поля в рабочей зоне. Современная электродинамика, №3 (5), июнь-июль 2023, стр. 12-16.

FORMATION OF THE RADIATION PATTERN OF A BROADBAND ANTENNA FOR USING IT AS IRRADIATOR

R.V. Gilmutdinov ^{*1.}, N.L. Menshikh¹, V.S. Solosin ¹, S.A. Fedorov ¹

¹ Institute for Theoretical and Applied Electromagnetics of RAS, Moscow, Russia

* psevduch777@gmail.com

Abstract

In this work, the opportunity of applying broadband antennas as feeds for reflector collimators was investigated. Two types of feeds (original and modified) based on the Satimo SH2000 broadband antenna were considered. An approximate computer model of a compact range with a MARK-12 reflector has been created. The field in the quiet zone was calculated using the physical optics method. A comparison was made of the field characteristics obtained using different feeds. The contribution of a smoothly varying field component to the unevenness of the field distribution has been studied. The dependence of amplitude and phase unevenness on frequency was described. It was shown that the use of an feed with a modified radiation pattern makes it possible to reduce the unevenness of the field amplitude in the quiet zone throughout the entire frequency band and maintain acceptable phase unevenness.

Key words: compact range, FEKO, feeds, collimator, quiet zone
