УДК 535.4
doi: 10.18101/2304-5728-2016-3-33-39

© А. С. Батороев, Е. С. Шолохов

Оптимизация параметров ослабляющих щелевых экранов с учетом направленных свойств антенных систем

Предложен способ учета направленных свойств излучающих и приемных систем при выборе оптимальных значений параметров щелевых экранов, предназначенных для локального подавления помеховых полей. В случае реальных антенн получены с учетом их направленных характеристик значения параметров экранов с произвольным числом щелей по критерию максимального ослабления помеховой волны в фокальной точке. Экспериментальные данные подтверждают достаточно высокую эффективность экранов, синтезированных предложенным способом.

Ключевые слова: дифракция Френеля, щелевой экран, подавление мешающих полей, множитель ослабления.

© A. S. Batoroev, E. S. Sholokhov

Optimization parameters of attenuation slot-type diffraction screens based on the directional properties of antenna systems

The type of calculation designed properties of the emitting and receiving systems in the selection of optimal values of the parameters of slotted screens intended for the local suppression in fur fields. In the case of actual antennas are obtained in accordance with their directional characteristics values of the parameters screens with pro-arbitrary number of slots on the criterion of maximum attenuation in fur waves at the focal point. The experimental data confirms the under-enough high performance screens are synthesized en-proposed method.

Keywords: Fresnel diffraction, slotted-screen, suppression of interfering fields, attenuation factor.

Введение

В работе [1] был исследован для целей локального подавления помеховых полей класс щелевых экранов и разработан для выбора их оптимальных параметров достаточно эффективный графо-аналитический способ, в основу которого было положено предположение об изотропности излучающих и приемных антенн. Такое предположение достаточно упрощает задачу, однако ее решение справедливо лишь для слабонаправленных антенных систем.

Реальным антенным системам (особенно в СВЧ-диапазоне) присущи резко выраженные направленные свойства, которые создают в разных на-

правлениях неравномерное распределение амплитуды излучаемого и принимаемого поля. Отклонение направленных характеристик антенн от изотропности значительно усложняет вид целевой функции и создает дополнительные трудности при решении оптимизационного уравнения. Из-за упомянутых сложностей до сих пор не разработаны достаточно эффективные методы учета направленных свойств антенных систем при выборе оптимальных параметров защитных экранов. Первый шаг в этом направлении был сделан в работе [2], где при выборе параметров защитных экранов секторной формы главный лепесток диаграммы направленности антенной системы аппроксимировался экспоненциальной квадратичной функцией, введение которой в выражение целевой функции позволило произвести разделение переменных и представить ее в замкнутом виде. Однако, такая аппроксимация диаграмм направленности реальных антенн не всегда оправдана, так как, например, в случае щелевых экранов из-за многолучевого дифракционного характера формирования волнового поля любое незначительное отклонение вида реальной диаграммы направленности от упомянутой экспоненциальности приводит к ощутимым погрешностям при определении оптимальных параметров защитных экранов.

В данной работе предлагается исследование защитных экранов щелевого типа в плане разработки достаточно надежного способа учета направленных свойств реальных антенн при выборе их оптимальных параметров, обеспечивающих эффективное локальное подавление помеховых полей.

1. Выбор целевой функции и решение оптимизационного уравнения

Аналогично работе [1], рассматривается случай локального подавления поля излучателя в месте расположения приемной антенны с помощью вынесенных симметричных экранов с произвольным числом щелей. Направленные свойства излучающей и приемной антенн задаются соответственно функциями $f_1(\upsilon)$, $f_2(\upsilon)$, которые аппроксимируют их реальные диаграммы направленности в зависимости от параметра υ, характеризующего относительное отклонение от оси главного максимума в плоскости экрана.

Задача синтеза экрана с произвольным числом щелей будет сводиться, как и в случае изотропных антенн, к выбору параметров экрана по критерию абсолютной минимизации множителя дифракционного ослабления относительно свободного пространства, который, как и прежде, выбирается в качестве целевой функции.

Идея предлагаемого способа решения данной задачи заключается в выборе с учетом направленных характеристик антенных систем такого вида целевой функции, чтобы сохранился общий вид оптимизационного уравнения [1]. Это условие позволит применить к решению исходного уравнения, предложенного в [1] графо-аналитического способа.

Учитывая монотонный характер кривых диаграммы направленности

реальных антенн (в области главного лепестка) было предложено свести задачу синтеза экранов щелевого типа к решению уравнения в векторной записи, в которой отражены и условие абсолютного локального подавления поля, и учет направленных свойств приемных и излучающих антенн:

$$\Phi = \sum_{j=1}^{2k+1} (-1)^{j-1} \cdot \vec{a}\ (\upsilon_j) = 0, \qquad (1)$$

где векторная функция $a(\upsilon_j)$ выражена через направленные характеристики антенн $f_1(\upsilon)$, $f_2(\upsilon)$ и известные спецфункции – интегралы Френеля $C(\upsilon_j)$, $S(\upsilon_j)$ следующим образом

$$\left| \vec{a}\ (\upsilon_j) \right| = \left| \vec{a}_0(\upsilon_j) \right| \cdot f_1(\upsilon_j) \cdot f_2(\upsilon_j) \cdot e^{i\varphi(\upsilon_j)}, \qquad (2)$$

$$\left| \vec{a}\ (\upsilon_j) \right| = \sqrt{\left[1 - C(\upsilon_j) - S(\upsilon_j)\right]^2 + \left[C(\upsilon_j) - S(\upsilon_j)\right]^2}, \qquad (3)$$

$$\varphi(\upsilon_j) = \operatorname{arctg} \frac{C(\upsilon_j) - S(\upsilon_j)}{1 - C(\upsilon_j) - S(\upsilon_j)} \qquad (4)$$

В уравнении (1), написанном для к-щелевого симметричного экрана, параметр υ_j определяет в зонах Френеля относительные высоты кромок щелевого экрана, а функции $f_1(\upsilon)$, $f_2(\upsilon)$ характеризуют уменьшение амплитуды волнового поля на уровне кромок экрана за счет диаграмм направленности обеих антенн.

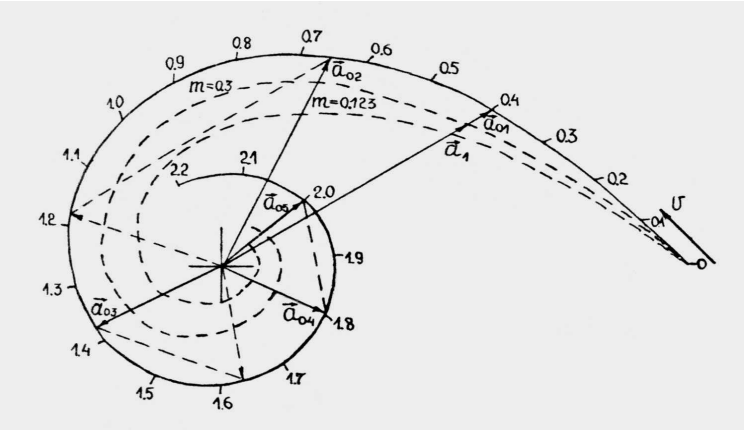

Рис. 1. Годографы для решения уравнения целевой функции

Представление основной компоненты целевой функции *Ф* в виде (2) основано на лучевом подходе, причем предполагается, что за счет диаграмм направленности антенн распределение поля в плоскости экрана претерпевает изменение лишь по амплитуде, оставаясь неизменным по фазе.

Такой выбор вида целевой функции *Ф* позволил сохранить общий вид оптимизационного уравнения (1), принятый в предшествующей работе авторов [1]. Поэтому для его решения был применен графо-аналитический способ, подробно описанный в [1].

2. Анализ результатов

С целью проверки эффективности предлагаемого способа были проведены расчеты параметров щелевых экранов и модельные измерения множителя ослабления Φ с использованием антенн с реальными характеристиками. В качестве приемной антенны использовался рупор с достаточно широкой диаграммой направленности, а в качестве передающей – параболическая антенна с остронаправленными характеристиками и коэффициентом усиления, превышающим 30 дБ.

На рис. 1 представлены годографы векторной функции $a(\upsilon_j)$, рассчитанные по формуле (2) с учетом диаграмм направленности использованных антенн. Основной годограф, вдоль которого отложены метки параметра υ_j, соответствует изотропным антеннам, т.е. при $f_{1,2}(\upsilon j) = 1$. Годографы, представленные пунктирными линиями, соответствуют реальным характеристикам использованных антенн при различном размещении экрана на трассе, определяемом относительной координатой m [1].

Наиболее важным моментом следует считать монотонный характер годографов, построенных с учетом реальных характеристик антенн, что подтверждает обоснованность выбора целевой функции в виде (2) и возможность однозначного определения искомых параметров υ_j графоаналитическим способом.

Вполне объяснимой на рис. 1 является зависимость формы годографа от положения экрана на трассе, определяемого параметром m [1], так как при близком расположении экрана к одной из антенн (малые значения m) значения параметра υ_j, соответствуют большим значениям углового раствора диаграмм направленности, т.е. более сильному уменьшению амплитуды поля.

Наблюдаемая на рис. 1 деформация (сжатие) годографов, связанная с учетом диаграмм направленности антенн и размещением экрана, очевидно, приводит к совершенно другим сочетаниям взаимокомпенсирующих векторов $a(\upsilon_j)$ и к совершенно новым значениям параметров щелевых экранов по сравнению со случаем изотропных антенн. Это обстоятельство еще раз косвенно подтверждает и показывает степень влияния направленных свойств антенн при выборе оптимальных параметров экранов и необходимость их учета.

Степень влияния направленных свойств антенн на выбор параметров экранов можно проиллюстрировать на простейших расчетах, результаты которых приведены на рис. 2.

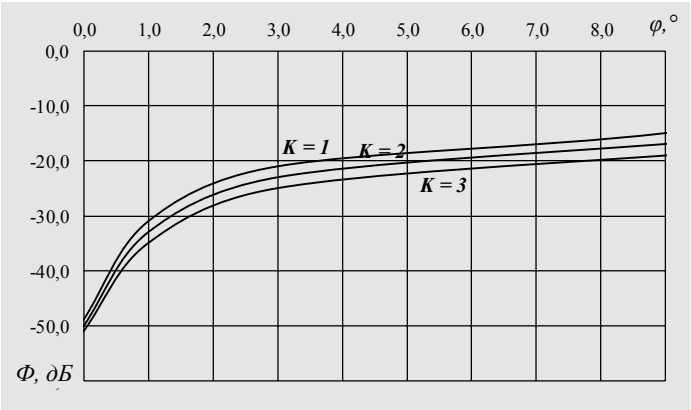

Рис. 2. Влияние неучета направленности антенн на степень подавления

На этом рисунке по оси ординат отложена в дБ величина множителя ослабления *Ф* (или степени подавления мешающего поля), рассчитанная в фокальной точке для параметров экрана, значения которых получены в предположении изотропности антенн, а по оси абсцисс – угловой параметр φ в градусах, характеризующий пологость (или крутизну) диаграммы направленности, но не учитываемый при определении самих параметров экрана. Таким образом, кривые, представленные на рис. 2 для различного числа щелей, иллюстрируют, к каким значительным погрешностям может привести неучет даже слабого отклонения направленных характеристик антенн от изотропности. Например, при отклонении направленности от изотропности, оцениваемом всего лишь в 4°, неучет его при выборе оптимальных параметров экранов может дать падение ожидаемой степени подавления порядка 25 дБ. При большем отклонении от изотропности величина расхождения между ожидаемым и реально получаемым значениями степени подавления может достигнуть 40 и более дБ.

Как легко можно заметить, в случае изотропных антенн годограф векторной функции $a(\upsilon_j)$ является как бы универсальным, общим для любых значений параметров трассы, в то время как годографы, построенные с учетом направленности антенн, соответствуют только единственному сочетанию длины трассы, относительного положения экрана на трассе и формы диаграмм направленности антенн, Несмотря на этот недостаток, предлагаемый способ обеспечивает приемлемую для практики оперативность и позволяет выполнить достаточно большой объем расчетов с высокой точностью.

На рисунке 3 приведены некоторые результаты вычисления параметров щелевых экранов для конкретной модельной трассы с учетом характеристик использованных антенн.

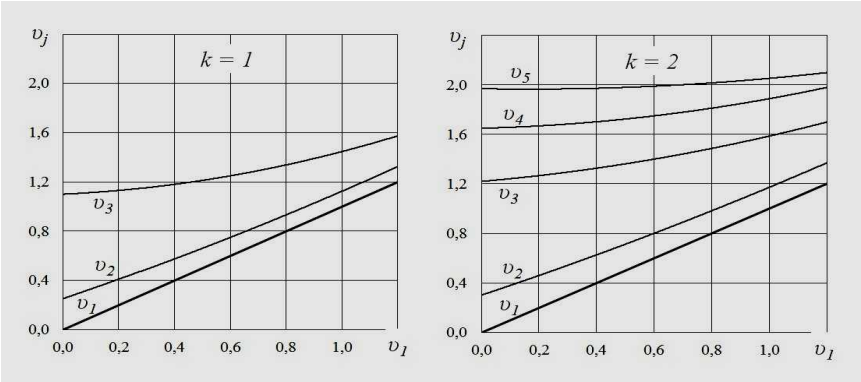

Рис. 3. Оптимальные параметры щелевых экранов, полученные с учетом направленности антенн

Из приведенных кривых может быть синтезировано практически бесчисленное количество щелевых экранов, однако, из соображений эффективности (малые габариты и пр.) заслуживают внимания значения параметров υ_j при $\upsilon_1 = 0$. При других ситуациях (скажем, при наличии естественных препятствий) наибольшая эффективность подавления может быть достигнута при иных значениях параметра υ_1.

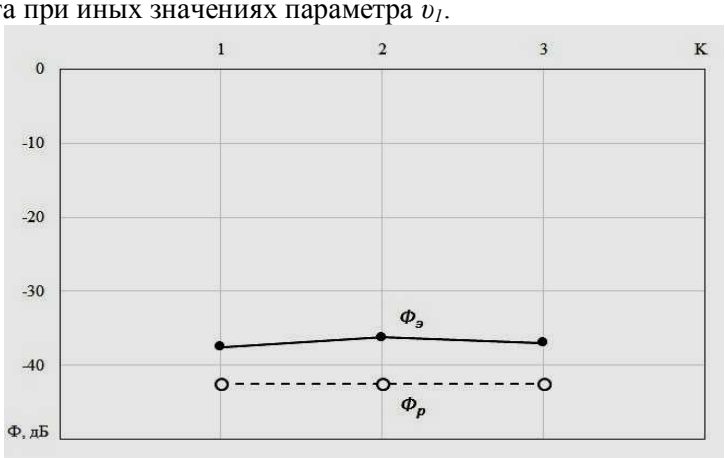

Рис. 4. Сравнение усредненных экспериментальных значений степени подавления с расчетными

Несмотря на некоторые недостатки данного способа по оперативности выявления оптимальных параметров экрана в сравнении со случаем изотропных антенн, можно отметить достаточно высокую точность определения их значений, что служит характеристикой надежности предлагаемого способа учета направленности антенн. Для иллюстрации сказанного на рис. 4 приведем данные о значениях множителя ослабления $Ф$, полученные расчетным и экспериментальным путями для найденных параметров экранов с различным числом щелей. Как видно, учет направленных свойств антенн предложенным способом приводит к выбору действительно оптимальных значений параметров, обеспечивающих достаточно глу-

бокое локальное подавление помеховых полей. Расхождение между расчетными Φ_p и усредненными экспериментальными $\Phi_э$ значениями множителя ослабления незначительное и составляет величину порядка 5-6 дБ. Абсолютная величина подавления, оцениваемая ~40 дБ, также говорит о достаточно высокой эффективности способа учета направленности антенн при выборе параметров экранов щелевого типа. Отметим, что экспериментальные данные о множителе ослабления получены на открытой площадке без использования безэховых камер.

Заключение

Таким образом, в данной работе получил дальнейшее развитие графоаналитический способ выбора оптимальных параметров щелевых экранов, который был предложен в работе [1]. Расчетные данные и их экспериментальная проверка показали высокую эффективность предложенного способа. Представленные здесь результаты могут быть применены в задачах по устранению взаимного влияния радиосредств, использующих остронаправленные антенные системы.

Литература

1. Батороев А. С., Шолохов Е. С., Ширеторов И. Д. Щелевые дифракционные экраны для минимизации волновых полей // Вестник Бурятского государственного университета. — 2013. — №3. — С. 132 – 136.
2. Ямпольский В. Г., Фролов О. П. Антенны и ЭМС. — Москва: Радио и связь, 1986. — 271 с.

References

1. Batoroev A. S., Sholohov E. S., Shiretorov I. D. Shhelevye difrakcionnye jekrany dlja minimizacii volnovyh polej // Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta. — 2013. — №3. — S. 132 – 136.
2. Jampol'skij V. G., Frolov O. P. Antenny i JeMS. — Moskva: Radio i svjaz', 1986. — 271 s.

Батороев Анатолий Сократович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики композитных материалов института физического материаловедения СО РАН, e-mail: abatoroev@mail.ru.

Шолохов Евгений Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории физики композитных материалов института физического материаловедения СО РАН, e-mail: eshol@ya.ru.

Batoroev Anatoly Sokratovich, candidate physical and mathematical sciences, leading researcher, Institute of Physical Material Science SB RAS.

Sholokhov Evgenii Sergeevich, junior researcher, Institute of Physical Material Science SB RAS.