

УДК 621.396.677.83

М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов, А.С. Дементьев

## Моделирование эффективности экранирования металлической пластиной для бортовой аппаратуры космического аппарата

Вычислена эффективность экранирования электрического, магнитного и электромагнитного полей в диапазоне частот от 10 кГц до 10 ГГц пластинами алюминия и сплава магния толщиной 1,5–4,0 мм для разных расстояний от источника до пластины. Приведены результаты моделирования, полезные для оценок эффективности экранирования бортовой аппаратуры космических аппаратов.

**Ключевые слова:** моделирование, экранирование, пластина, алюминий, магний.

Экранирование широко используется как конструкторское средство обеспечения электромагнитной совместимости, защищающее рецептор от источника поля в пределах определённого пространства. Для бортовой аппаратуры (БА) космических аппаратов (КА) экранирование актуально в связи с ростом частот и жёсткости электромагнитной обстановки. Для повышения срока активного существования КА до 15 лет этот рост очень трудно прогнозировать точно, что может потребовать экранирования с большим запасом. Между тем остающееся актуальным уменьшение массы БА КА требует уменьшения плотности металла и толщины экрана. Поэтому важно тщательное моделирование экранирования в диапазоне параметров БА КА, позволяющее до изготовления и проведения натурных испытаний БА КА сделать предварительные оценки для требуемого экранирования.

Строгий подход к решению данной задачи требует точного геометрического моделирования сложной формы реальных корпусов и экранов БА КА и электродинамического моделирования в диапазоне параметров с последующей оптимизацией. Этот подход точен и корректен, и поэтому к нему надо стремиться. Однако он имеет серьезные препятствия, например: большие затраты на приобретение или разработку специализированного программного обеспечения, необходимость высокой квалификации специалистов для корректного моделирования, потребность в значительных вычислительных ресурсах. Между тем для простых частных структур существуют разработанные и апробированные математические модели, позволяющие сделать быстрые и полезные предварительные оценки. Одна из таких моделей [1], исходя из уравнений Максвелла, описывает однородный плоский металлический экран (считающийся линейной системой с протяженностью, достаточной для исключения влияния краевого эффекта) при ортогональном падении на него волны от источника помех, распространяющейся вдоль оси  $y$  (рис. 1). Модель сводится к простым аналитическим формулам в замкнутом виде, которые легко программируются и быстро вычисляются. Предварительный анализ показывает возможность получения с их помощью приближенных сравнительных оценок для выбора металла и параметров экранирования бортовой аппаратуры космического аппарата.

Цель данной работы – представить результаты моделирования эффективности экранирования металлической пластиной в диапазоне параметров бортовой аппаратуры космического аппарата.

Согласно используемой модели [1] источник помех характеризуется длиной волны излучения ( $\lambda$ , м) и расстоянием от источника до экрана ( $r$ , м). В ближней зоне, где  $r < \lambda/2\pi < 1$ , поле еще не сформировалось в плоскую электромагнитную волну и представляет собой либо электрическое (высокоомное), либо магнитное (низкоомное) поле, в зависимости от электрических характеристик источника помех. В дальней зоне, где  $r > \lambda/2\pi > 2$ , поле формируется в плоскую электромагнитную волну и не зависит от  $r$ . Экран характеризуется его толщиной ( $t$ , м), удельной электрической проводимостью ( $\sigma$ , См/м) и относительной магнитной проницаемостью ( $\mu_r$ ). Количественной характеристикой экранирования является эффективность экранирования (ЭЭ, дБ), которая определяется как отношение значений напряженности поля в точке наблюдения при отсутствии и присутствии экрана.

В настоящее время для экранирования используют разные типы металлов, из которых для КА особый интерес представляют легкие металлы и их сплавы. Среди них выбраны широко применяемые алюминий ( $\sigma = 37 \cdot 10^6$ , См/м) и сплав магния МА2-1 ( $\sigma = 8,3 \cdot 10^6$  См/м). Толщина экрана, в соот-

ветствии с реальными размерами, используемыми в БА КА, варьируется от 1,5 до 4,0 мм с шагом 0,5 мм. Расстояние от источника помех до экрана, для оценки разных реальных вариантов выбрано равным 1; 10; 100, 1000 мм. Частота источника помех варьировалась от 10 кГц до 18 ГГц в трёх

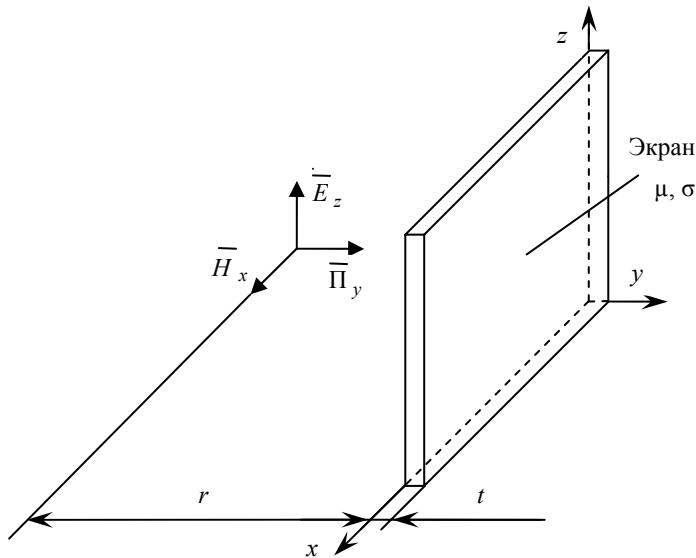


Рис. 1. Падение волны на плоский однородный металлический экран

диапазонах частот: 10, 20, ..., 1000 кГц; 10, 20, ..., 1000 МГц, 1, 2, ..., 18 ГГц.

Моделирование проводилось для электромагнитного, электрического, магнитного полей. Получено большое количество (432) частотных зависимостей ЭЭ. Для всех параметров при частотах выше 1 МГц ЭЭ довольно велика, составляет сотни децибел, значительно увеличивается с дальнейшим ростом частоты и поэтому здесь не представлена. С уменьшением частоты ЭЭ снижается, и поэтому для оценки порядка величин наихудшего случая значения ЭЭ приведены в табл. 1, а частотные зависимости для обоих металлов разной толщины при минимальном расстоянии – в табл. 2.

Таблица 1

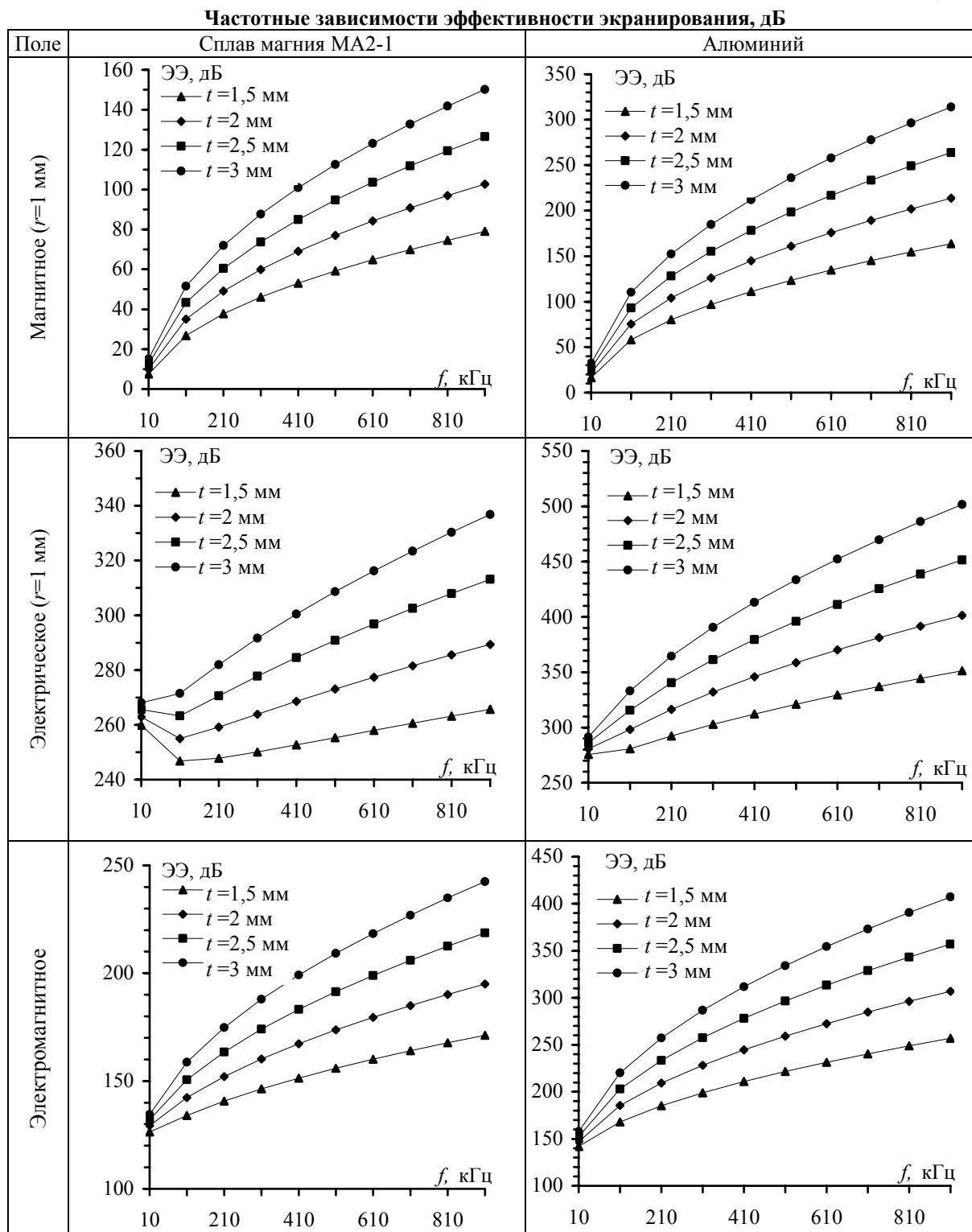
Эффективность экранирования, дБ

$f, \text{ГГц}$	$t, \text{мм}$	$r, \text{мм}$	Электрическое поле		Магнитное поле		Электромагнитное поле	
			Al	МА2-1	Al	МА2-1	Al	МА2-1
$10^4$	1,5	1	275	260	16	8	142	126
		10	255	240	29	15		
		100	235	220	48	33		
	2	1	281	263	22	10	147	129
		10	261	243	35	18		
		100	241	223	54	36		
	2,5	1	286	266	27	13	152	132
		10	266	246	40	20		
		100	246	226	59	39		
	3	1	291	268	32	15	158	135
		10	271	248	45	23		
		100	251	228	64	41		
$10^6$	1,5	1	357	268	171	83	264	174
		10	337	248	190	101		
		100	317	228	210	121		
	2	1	410	293	224	108	316	199
		10	390	273	243	126		
		100	370	253	263	146		
	2,5	1	462	318	276	133	369	224
		10	442	298	295	151		
		100	422	278	315	171		
	3	1	515	343	329	157	421	249
		10	495	323	348	176		
		100	475	303	368	195		

Как видно из табл. 1, ЭЭ минимальна на низкой частоте. Причем для электромагнитного поля она остаётся довольно высокой, но переход от алюминия к сплаву магния уменьшает ЭЭ на 16–23 дБ с ростом толщины. Для электрического поля ЭЭ значительно выше, несмотря на её уменьшение пропорционально расстоянию, а переход от алюминия к сплаву магния уменьшает ЭЭ на ту же

разницу, что и для электромагнитного поля. Наименьшее значение имеет ЭЭ магнитного поля, причем переход от алюминия к сплаву магния уменьшает ЭЭ на 8–23 дБ с ростом толщины и расстояния. Из табл. 2 можно сделать количественные оценки для наихудшего случая. Примечательно, что для электрического поля появляется низкочастотный участок спада ЭЭ с ростом частоты из-за резкого ухудшения удельной проводимости сплава магния по сравнению с алюминием. Однако значение ЭЭ остается довольно большим.

Таблица 2



Таким образом, переход от алюминия к более легкому сплаву магния ухудшит экранирование. Этот переход может оказаться критичным для экранирования низкочастотного магнитного поля. Так что источники больших токов вблизи плоского экрана могут влиять на низкоомные контуры за экраном, и полезно тщательное моделирование таких структур.

Работа выполнена в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ от 09.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», и договора № 13.G25.31.0017 от 07.09.2010 между ОАО «ИСС» им. акад. М. Ф. Решетнева» и Минобрнауки РФ.

#### *Литература*

1. Князев А.Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989. – 229 с.

---

#### **Комнатнов Максим Евгеньевич**

Студент, каф. телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: 8-952-888-38-96

Эл. почта: maxmek@mail.ru

#### **Газизов Тальгат Рашитович**

Д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник, доцент каф. телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: 8 (383-2) 41-34-39

Эл. почта: talgat@tu.tusur.ru

#### **Дементьев Александр Сергеевич**

Аспирант каф. радиотехнических систем ТУСУРа

Тел. 8-923-413-71-16

Эл. почта: dementev\_as@bk.ru

Komnatnov M.E., Gazizov T.R., Dementyev A.S.

#### **Simulation of metal plate shielding effectiveness for airborne equipment of space vehicle**

Shielding effectiveness of electric, magnetic and electromagnetic fields in frequency band 10 kHz–10 GHz for alumina and magnesium plates with 1,5–4,0 mm thickness for different distances from source to plate is calculated. Simulation results useful for shielding effectiveness estimations of airborne equipment of space vehicles are given.

**Keywords:** simulation, shielding, plate, alumina, magnesium.