

рех кнопок, которые имеют предупреждающий характер и используются в экстренных ситуациях. Шестая группа обладает дополнительными функциями, необходимыми для задания тех или иных параметров в ПУ. Седьмая группа имеет в своем составе две кнопки, которые отвечают за подъем или спуск съемной двери на червячном подъемнике.

Малые габариты и высокая плотность монтажа обусловили сложность задачи трассировки печатной платы. В связи с этим использованы компоненты поверхностного монтажа. Для размещения на плате всех проводящих трасс использован четырехслойный стек печатной платы.

Таким образом, разработана плата ввода и обработки команд управления, предназначенная для работы в составе пульта управления климатической экранированной камерой, разрабатываемой для исследования на совместные температурные и электромагнитные воздействия радиоэлектронных средств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

#### Литература

1. Пат. 2558706 РФ. Климатическая экранированная камера / Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. (РФ). – Заявка № 2014103639. Заявл.: 3.02.2014; опубл.: 08.07.15.
2. Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. Камера для совместных климатических и электромагнитных испытаний электронных компонентов // Техника радиосвязи. – 2014. – №3 (23). – С. 84–91.
3. Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р. О совместных климатических и электромагнитных испытаниях // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 4. – С. 39–45.
4. Komnatnov M.E., Gazizov T.R. Environmental Shielded TEM Chamber for Biomedical Testing Proc. // IEEE International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio-2014). – 2014. – PP. 64–68.

**М.А. Зуева, М.Е. Комнатнов, И.Ф. Калимулин**

## Оценка эффективности экранирования корпуса соединителя СНП 339

Исследована эффективность экранирования корпуса соединителя типа СНП 339 в точках у апертуры и в середине корпуса при падении плоской электромагнитной волны со стороны апертуры. Приведены результаты вычислений в диапазоне частот от 10 кГц до 20 ГГц для ширины 2, 3, ... 8 мм апертуры корпуса, полученные с помощью системы Altair FEKO. Выполнено сравнение с результатами, полученными в системе TALGAT.

**Ключевые слова:** эффективность экранирования, СНП 339, Altair FEKO, TALGAT, CST MWS.

Соединители типа СНП 339 (рис. 1), предназначены для работы в электрических цепях постоянного, переменного (частотой до 3 МГц) и импульсного токов при напряжении до 150 В и силе тока на контакт до 1 А. Соединители широко используются в бортовой радиоэлектронной аппаратуре космического аппарата для электрических связей между узлами, блоками и модулями посредством кабелей.



Рис. 1. Соединитель типа СНП 339

Для повышения уровня помехоустойчивости соединителя требуется дополнительное его экранирование. Один из наиболее простых вариантов повышения экранирования – поместить соединитель в экранирующий корпус. Как видно из конструкции устройства, в корпусе соединителя

СНП 339 имеется ухудшающая экранирование апертура для ввода кабеля. Известны отдельные результаты исследований эффективности экранирования (ЭЭ) корпуса соединителя СНП 339. Однако системных оценок на основе разного программного обеспечения не сделано. Цель данной работы – вычислить влияние ширины апертуры на ЭЭ корпуса соединителя типа СНП 339, в диапазоне частот 10 кГц...20 ГГц, при падении плоской электромагнитной волны на корпус со стороны апертуры. Для достижения поставленной цели построена геометрическая модель корпуса соединителя типа СНП 339 с внутренними размерами  $a \times b \times d = 29,5 \times 8 \times 21,5$  мм<sup>3</sup>; толщина стенок – 1 мм. Материал – идеальный электрический проводник. Модель представлена на рис. 2.

Оценка ЭЭ данного корпуса уже была проведена ранее в системах TALGAT и CST MWS. Подробное описание полученных в данных системах результатов, а также таблица рассчитанных резонансных частот представлены в работах [1] и [2]. Оценки существенно различаются, так что полезно выполнить аналогичные оценки в другом программном продукте. Вычисления проводились для расстояний  $p$ , равных 1 мм (у апертуры корпуса) и

10 мм (в середине корпуса) от центра апертуры, в трех диапазонах частот:  $f_1$  (10 кГц – 1 МГц),  $f_2$  (1 МГц – 1 ГГц) и  $f_3$  (1–20 ГГц).

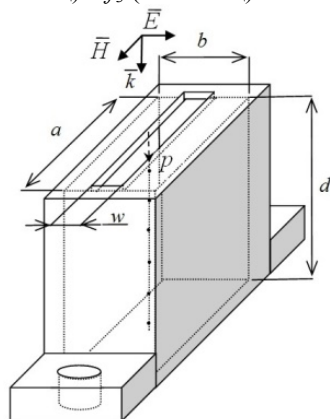


Рис. 2. Геометрическая модель корпуса соединителя типа СНП 339

Полученные в системе Altair FEKO результаты моделирования сравнивались с вычисленными ранее в вышеупомянутых системах и представлены ниже на рис. 3 и 4 для случаев  $p=1$  мм и  $p=10$  мм соответственно. Графики, полученные в CST для случаев  $w=2$  мм и  $w=8$  мм, обозначены  $w_{1c}$  и  $w_{2c}$  соответственно; в TALGAT –  $w_{1t}$ ,  $w_{2t}$ , в FEKO –  $w_{1f}$ ,  $w_{2f}$ . Для наглядности выбраны и сведены в табл. 1 значения ЭЭ из первой и второй половины рассматриваемых частотных диапазонов.

Анализ результатов моделирования, проведенного в FEKO, показал, что ЭЭ в диапазоне частот  $f_1$  монотонно убывает до 32 дБ в точке возле апертуры ( $p=1$  мм) и до 85 дБ в середине корпуса ( $p=10$  мм). Значения, полученные в случае максимального перекрытия апертуры, составили 75 и 91 дБ для точек в начале и середине корпуса, соответственно. С уменьшением ширины апертуры значение ЭЭ увеличивается на 5–15 дБ.

В диапазоне частот  $f_2$  ЭЭ продолжает монотонно убывать до значения 30 и 25 дБ при максимальном и минимальном перекрытиях апертуры соответственно в случае  $p=10$  мм. При  $p=1$  мм это значение одинаково для всех значений апертуры и составляет 18 дБ.

В диапазоне частот  $f_3$  значение ЭЭ также монотонно убывает до частоты первого резонанса – 5,081 ГГц. Максимальное значение в середине корпуса составило 30 дБ на частоте третьего резонанса – 8,627 ГГц. Также отмечены высокие значения ЭЭ на резонансных частотах в 14,84, 18,74 и 19,9 ГГц. Минимальное значение ЭЭ отрицательно и для всех рассмотренных случаев составило 12–23 дБ.

При сравнении вычисленных значений с результатами, полученными ранее в программном обеспечении TALGAT, отмечено существенное расхождение, особенно в диапазоне частот  $f_1$ . Большинство зависимостей при исследовании в FEKO носят линейный характер и расходятся с данными TALGAT на 20–27 дБ. Выявленное несо-

ответствие обусловлено необходимостью настройки особых методов решения при моделировании в FEKO. Однако подобное вычисление требует высоких компьютерных и временных ресурсов, в силу чего были использованы стандартные методы решения, приведшие к данным отклонениям.

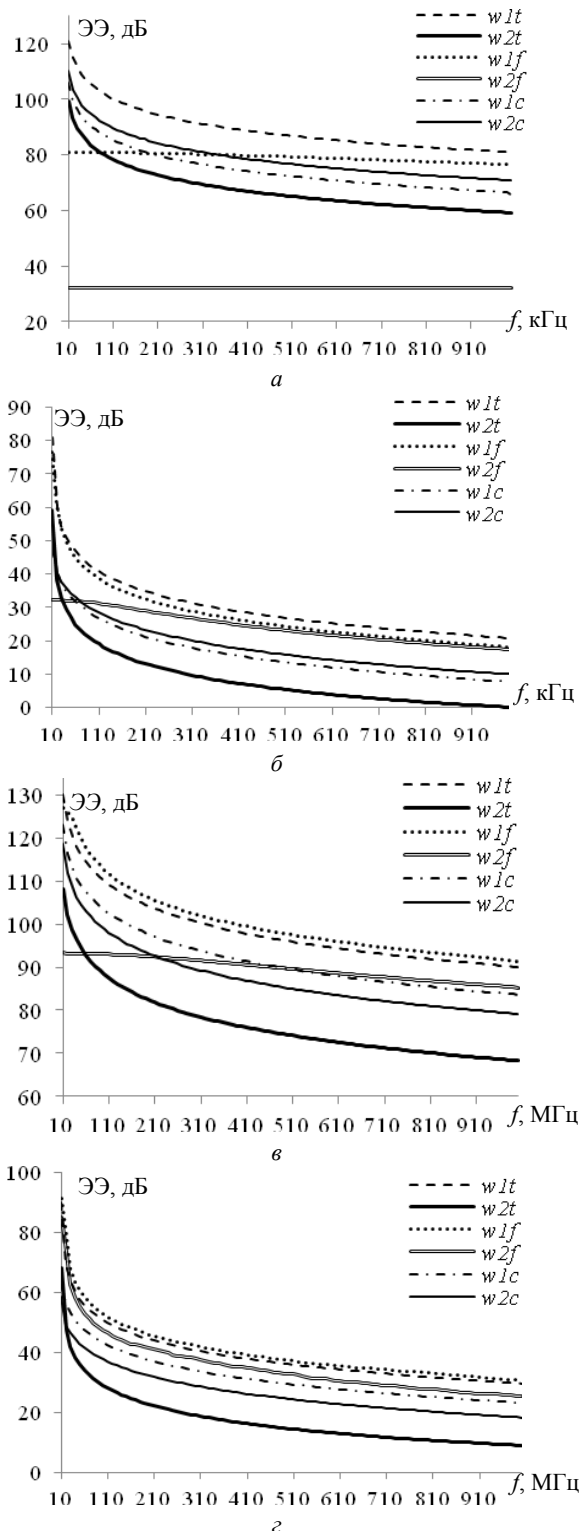


Рис. 3. Частотные зависимости ЭЭ корпуса соединителя в диапазонах частот  $f_1$  (а) и  $f_2$  (б) при  $p=1$  мм и в  $f_1$  (в) и  $f_2$  (г) при  $p=10$  мм для  $w=2, 3, \dots, 8$  мм

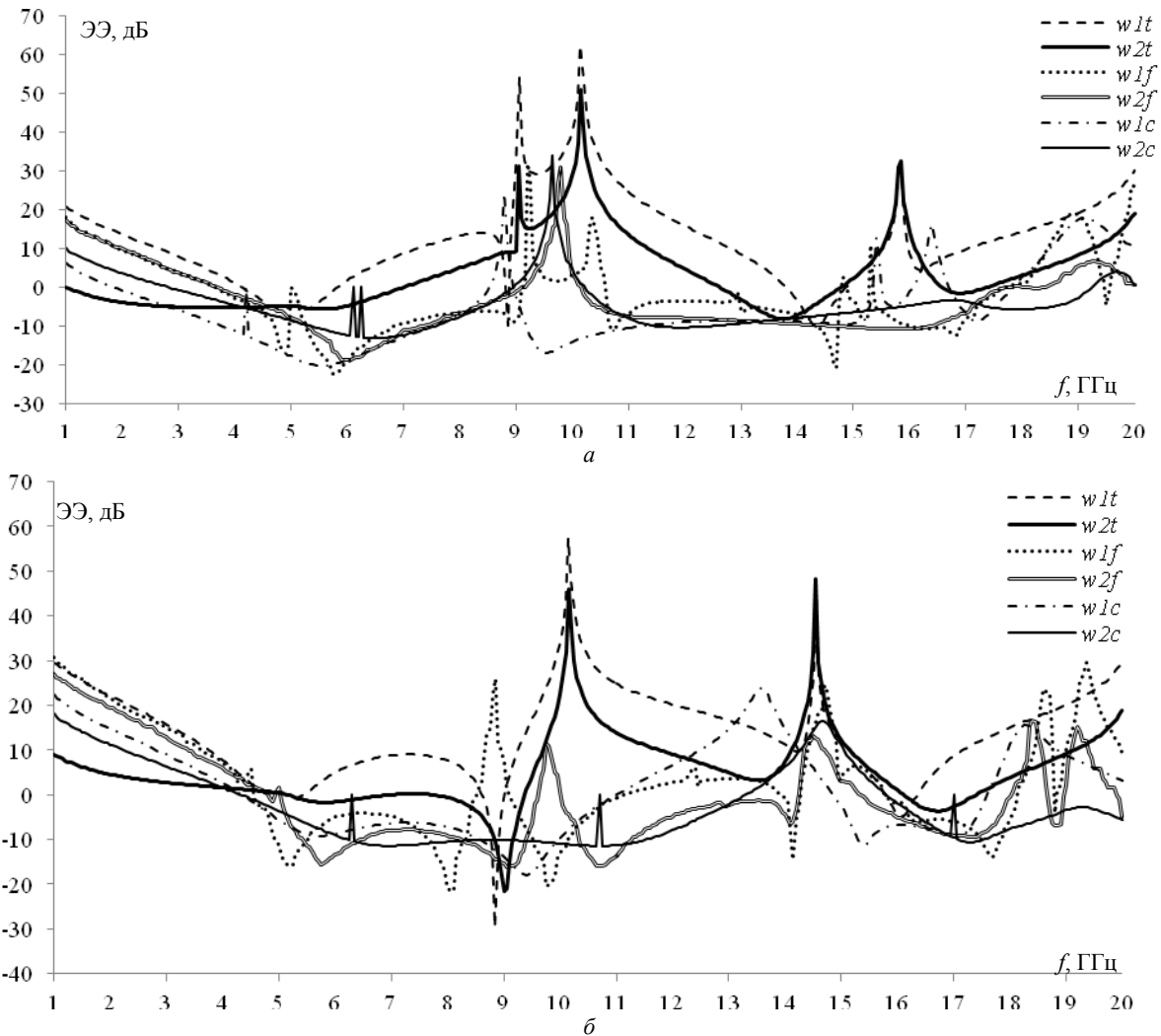


Рис. 4. Частотные зависимости ЭЭ корпуса соединителя в диапазоне частот  $f_3$  при  $p = 1$  мм (а) и  $p = 10$  мм (б) для  $w = 2, 3, \dots, 8$  мм

Таблица 1  
Значения ЭЭ, дБ, при изменении  $w$  и  $p$ , для трех диапазонов частот  $f_1 - f_3$  и программных продуктов

Частота, Гц	$p = 1$ мм						$p = 10$ мм					
	TALGAT	CST	FEKO	TALGAT	CST	FEKO	TALGAT	CST	FEKO	TALGAT	CST	FEKO
$w$ , мм	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8	2	8
200 к	95	73	81	85	81	32	104	82	97	93	105	92
800 к	83	61	68	73	78	32	92	70	95	81	94	86
200 М	35	13	22	24	33	30	35	16	22	24	33	29
800 М	23	2	10	12	20	19	23	2	10	12	20	19
3 Г	8	-3	-8	-9	-7	-9	29	8	21	17	3	3
13 Г	8	-5	-6	-1	4	4	17	5	15	-3	4	-2

В диапазоне частот  $f_2$  минимальное значение ЭЭ, полученное при помощи FEKO для случая полного раскрытия апертуры, выше результатов моделирования в среде TALGAT на 20 дБ и на 12 дБ в CST, но, в целом, общий вид зависимостей схож. В диапазоне частот  $f_3$  во всех системах моделирования наблюдается область резонансных частот. На протяжении всего рассматриваемого частотного диапазона наблюдалось монотонное уменьшение ЭЭ до первой резонансной частоты 5,081 ГГц. Характер зависимостей, полученных в выбранных системах

моделирования, схож, но имеются некоторые различия в значениях ЭЭ в связи с различными способами дискретизации исследуемой задачи.

Как видно из рис. 3, б–г, значения ЭЭ, вычисленные в разных программных продуктах, совпадают в случае максимального перекрытия апертуры на всех рассмотренных частотах.

Соединители типа СНП 339 в основном изготавливаются ОАО «Уральский завод электрических соединителей «Исеть» в соответствии с нормативно-технической документацией [3]. В данной документации в числе требований, предъявляемых к характеристикам и условиям эксплуатации данного устройства, также имеются требования к уровню ЭЭ, представленные в табл. 1.

Таблица 1  
ЭЭ, дБ, для корпуса СНП 339

Частота, МГц	Требуемая	Полученная
$\leq 7$	50	78
100	42	51
300	37	41
400	35	39
500	35	37
600	35	36

Полученные при моделировании в ФЕКО значения ЭЭ, вычисленные в середине корпуса при максимальном перекрытии апертуры, соответствуют требованиям табл. 1.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

#### *Литература*

1. Комнатнов М.Е. Анализ эффективности экранирования бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата и создание устройств для испытаний на

электромагнитную совместимость: дис. ... канд. техн. Наук / ТУСУР. – Томск, 2016.

2. Комнатнов М.Е. Оценка эффективности экранирования корпуса соединителя бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / М.Е. Комнатнов, Г.Р. Газизов // Авиакосмическое приборостроение. – 2013. – №4. – С. 37–42.

3. Соединители электрические низкочастотные прямоугольные с экранированным кожухом и токопроводящим покрытием миниатюрные СНПЗ39Т [Электронный ресурс]. – ОАО «Уральский завод электрических соединителей «Исеть», г. Каменск-Уральский. – URL: [http://www.radiant.su/files/images/iset/a\\_153.pdf](http://www.radiant.su/files/images/iset/a_153.pdf)