

сравнению с исходной структурой МФ, а от 1 до 2 ГГц – на 35%. Следовательно, высокочастотные искажения МФ в диапазоне частот до 2 ГГц менее 1 дБ.

Значения коэффициента передачи (МФ)

Способ оптимизации	Коэффициент передачи (S_{12}), дБ		
	Частотный диапазон, ГГц		
	0	1	2
Исходная структура (рис. 2)	0	-0,98	-4,4
Оптимизация эвристическим поиском (рис. 3)	0	-0,26	-1,06
Оптимизация с помощью метода доверительных интервалов (рис. 4)	0	-0,15	-0,63

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации № 14.256.18.356 МД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газизов Т.Р., Долганов Е.С., Заболоцкий А.М. Модальный фильтр как устройство защиты бортовых вычислителей и блоков управления космических аппаратов от электростатического разряда. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 43 с.
2. Новые возможности системы моделирования электромагнитной совместимости TALGAT / С.П. Куксенко, А.М. Заболоцкий, А.О. Мелкозеров, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУРа. – 2015. – Т. 2, № 36. – С. 45–50.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСОМ С АПЕРТУРОЙ

А.А. Квасников, магистрант

*Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, aleksejkvasnikov@gmail.com*

Одним из конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) является экранирование. При проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) применяют экранирование пластиной или корпусом [1]. Их эффективность экранирования (ЭЭ) может быть вычислена с помощью различных аналитических и численных методов. Аналитические методы целесообразно использовать на начальных этапах разработки РЭА для предварительной оценки ЭЭ корпусом. Так, известны методы, которые пригодны для пред-

варительной оценки ЭЭ корпусом с прямоугольной апертурой в заданной точке наблюдения [2, 3]. При оценке в нескольких точках наблюдения практически значимо использовать трехмерное отображение с возможностью использования различных аналитических методов. Однако такой программной реализации автору неизвестно.

Цель работы – освещение результатов разработки программного модуля с графическим интерфейсом и трехмерным отображением частотных зависимостей ЭЭ при перемещении точки наблюдения.

Программный модуль реализован на языке C++ с применением возможностей платформы Qt из-за имеющегося в ней большого набора библиотек и возможности кроссплатформенной разработки [4]. Оболочка программного модуля разработана с применением технологии Qt Quick, особенностью которой является разделение декларативного способа описания дизайна интерфейса и императивной логики программирования. Совместное использование вышеописанных инструментов позволило внедрить архитектуру «Модель-Представление-Контроллер», часто используемую при создании приложений со сложным интерфейсом [5]. В данной работе модель представляет собой часть приложения, которое предназначено для построения трехмерного графика, и методы для генерации его данных. Реализован класс `surfaceModelList`, унаследованный от абстрактного `QAbstractListModel`, а также определены его методы, требуемые для корректной работы модели. Так, метод `rowCount` возвращает количество строк, `data` – данные элемента (элемент списка состоит из трёх координат x , y , z для каждой точки графика), `roleNames` – список ролей, доступных для каждого элемента, который необходим для связи конкретных данных модели с ее представлением.

Аналитические методы вычисления ЭЭ согласно [2, 3] вынесены в отдельный класс `calculation`. Реализованы функции численного интегрирования методом трапеций и прямоугольников для одинарных (рис. 1, *а*) и двойных (рис. 1, *б*) интегралов, используемых в этих методах, для вычисления коэффициента связи апертуры с корпусом.

Графический интерфейс разработанного модуля реализован на языке QML с использованием библиотеки для написания QML приложений (QtQuick), модуля с набором элементов управления для графической оболочки (QtQuick.Controls) и модуля визуализации данных в виде трехмерных графиков (QtDataVisualization). Реализовано всплывающее меню с пунктами (разделами), каждый из которых отвечает за детальную настройку режимов работы модуля (рис. 2). Раздел *Файл* содержит стандартные функции (*Новый файл*, *Сохранить*, *Загрузить*).

```

double integral(...) {
    auto h = (max - min)/n;
    double result;
    result = 0.5 * (func(...) + func(...));
    for (int i=1; i<n; i++){
        result += func(...);
    }
    result *= h;
    return result;
}

```

a

```

double doubleintegral(...) {
    double hx = (b - a)/(nx);
    double hy = (d - c)/(ny);
    double xi, yj;
    double result = 0;
    for(int i=0; i<nx; i++){
        for(int j=0; j<ny; j++){
            xi = a + hx/2 + i*hx;
            yj = c + hy/2 + j*hy;
            result += hx*hy*func(...);
        }
    }
    return result;
}

```

б

Рис. 1. Реализация функций методов численного интегрирования: трапеций (*a*) и прямоугольников (*б*)

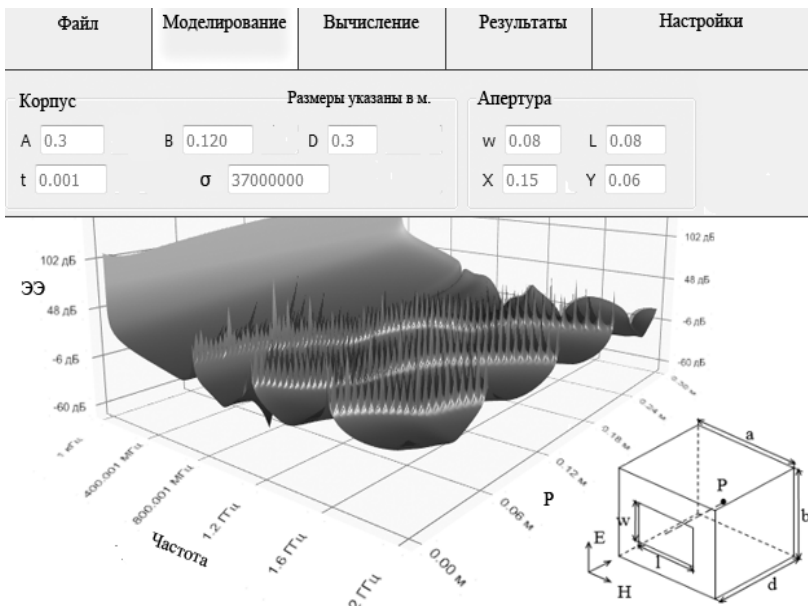


Рис. 2. Графический интерфейс программного модуля

В разделе *Моделирование* задаются требуемые значения геометрических параметров корпуса и апертуры. За настройку работы алгоритмов численного интегрирования (задание параметров воздействия, выбор методов и параметров точки наблюдения) отвечает раздел *Вычисление*. В разделе *Результаты* задаются режимы отображения ре-

зультатов вычислений (частотная зависимость ЭЭ в виде двухмерного или трехмерного (при изменении точки наблюдения на заданном интервале) изображения, цветовая гамма, резонансные частоты). Язык интерфейса программного модуля может быть изменен в разделе *Настройки*.

Таким образом, в ходе работы освещены особенности реализации программного модуля оценки ЭЭ корпусом с апертурой, который позволяет анализировать частотные зависимости ЭЭ на заданном интервале точек наблюдения при предварительной его оценке. В дальнейшем предполагается интеграция разработанного модуля в систему моделирования ЭМС TALGAT.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417 X0172.

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. – Томск: ТУСУР, 2016. – 216 с.
2. Po'ad F.A. Analytical and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure with off-centered apertures / F.A. Po'ad, M.M.Z. Jenu, C. Christopoulos, D.W.P. Thomas // 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Zurich, Switzerland, 2006. – P. 618–621.
3. Shi D. Shielding analysis of enclosure with aperture irradiated by plane wave with arbitrary incident angle and polarization direction / D. Shi, Y. Shen, F. Ruan, Z. Wei, Y. Gao // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Qingdao, China, 2008. – P. 361–364.
4. Сайт инструментария Qt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.qt.io/>, свободный (дата обращения: 14.02.2018).
5. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М.: Вильямс, 2006. – 544 с.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ПОМЕХОВЫХ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

А.А. Квасников, магистрант

*Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, aleksejkvasnikov@gmail.com*

Оценка уязвимости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) к преднамеренным электромагнитным помехам играет важную роль на ранних стадиях проектирования РЭА. Задача обеспечения электромаг-