

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

XIV Международная научно-практическая конференция

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

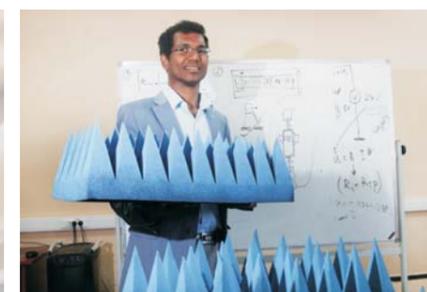
Материалы докладов

г. Томск

28–30 ноября 2018 г.

В двух частях

ЧАСТЬ 1



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XIV Международная научно-практическая конференция

28–30 ноября 2018 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
Томск – 2018

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 **Электронные средства и системы управления:** материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2018. – 348 с.
ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)
ISBN 978-5-91191-403-5 (Ч. 2)

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XIV Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 28–30 ноября 2018 г.), по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; наноэлектроника СВЧ; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства СВЧ; нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; плазменная электроника; биомедицинская электроника; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; интеллектуальные системы проектирования, автоматизация проектирования электронных устройств и систем; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; инновации в сфере электроники и управления; оптоэлектроника и фотоника; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение.

Для студентов, преподавателей и специалистов, интересующихся проблемами систем управления.
УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965

*Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).
Проект № 18-07-20094*

*Часть статей секций 2–22 направлена для публикации
в журнале «Доклады ТУСУРа»*

ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)

© ТУСУР, 2018
© Коллектив авторов, 2018

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «КЕЙСАЙТ ТЕКНОЛОДЖИЗ»



ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3.

Тел.: 495 797 39 00
Факс: 495 797 39 02
www.keysight.ru

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

Как самостоятельная компания Keysight Technologies была образована в 2014 г. в результате стратегического разделения компании Agilent Technologies, которая, в свою очередь, до 1999 г. входила в корпорацию Hewlett-Packard. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен более 75 лет назад.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр лабораторных, модульных и портативных контрольно-измерительных приборов, в том числе оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, источники питания, генераторы импульсов, системы сбора данных, логические анализаторы, ручные приборы), решения для тестирования телекоммуникаций, а также системы автоматизированного проектирования и моделирования электронных устройств.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard / Agilent, используются уже более 45 лет и по праву считаются наиболее точным и надежным контрольно-измерительным оборудованием на рынке.

Российский офис компании Keysight Technologies предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов Keysight Technologies.

Среди крупнейших заказчиков Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

В 2012 г. компания Keysight Technologies открыла два дополнительных региональных офиса в России – в Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2013 г. дополнительный офис открыт в Ростове-на-Дону, в 2014 г. – в Санкт-Петербурге.

Информация о компании Keysight Technologies доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru

*Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Смирнова Галина Владимировна*

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «ЛЕКРОЙ РУС»



TELEDYNE LECROY
Everywhere you look™

ООО «ЛеКрой РУС»
119071, г. Москва, 2-й Донской
проезд, д. 10, стр. 4, 2-й этаж

Тел.: 495 777-5591
Факс: 495 640-3023
<https://prist.ru/>

Компания «ПриСТ» основана в 1994 г. Сегодня АО «ПриСТ» один из крупнейших российских поставщиков приборов для электроизмерений, радиоизмерений и измерений параметров окружающей среды (<https://prist.ru/>).

В компании работает более 80 высококвалифицированных сотрудников, открыты представительства в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге, имеется дилерская сеть по всей территории России, дилеры в Белоруссии и Казахстане.

Основные виды деятельности:

- Поставки измерительного оборудования.
- Технические консультации по подбору средств измерения и вариантам замен приборов, снятых с производства или морально устаревших.
- Услуги по поверке и калибровке СИ.
- Услуги по техническому обслуживанию СИ, включая закрытую калибровку.
- Услуги автоматизации процессов поверки и калибровки.
- Испытания для целей утверждения типа СИ.
- Сервисная поддержка, гарантийное и послегарантийное обслуживание.
- Предоставление СИ в арендное пользование.

Компания «ПриСТ» является эксклюзивным поставщиком на территории России и СНГ продукции таких компаний, как APPA, Center, Good Will Instrument, SEW, Tabor Electronics, Teledyne LeCroy и Wayne Kerr Electronics. Дистрибьюторские и партнерские соглашения связывают компанию со всемирно известными производителями: Anritsu, Fluke, Keysight, National Instruments, Rohde&Schwarz, Pendulum, Spectracom, TDK-Lambda, Pico Technology.

С 2004 г. АО «ПриСТ» представляет на российском рынке компанию LeCroy (с 2012 г. Teledyne LeCroy) – одного из мировых лидеров в разработке и производстве цифровых осциллографов. Осциллографы высочайшего класса помогают инженерам-конструкторам и учёным осуществлять наблюдение, измерение и анализ сигналов в электронных цепях и трактах различных устройств. Компания «Teledyne LeCroy» является одним из технологических лидеров на рынке цифровых осциллографов. Это подтверждают ее достижения, например, в 2013 г. компания представила многоканальную систему с полосой пропускания 100 ГГц в режиме реального времени. В том же 2013 г. были представлены осциллографы высокого разрешения (HDO) с 12-битным АЦП и полосой пропускания 1 ГГц. Семейство осциллографов HDO существенно изменило представление о точности измерений, доступной цифровым осциллографам. 2018 год ознаменовался выходом новой серии осциллографов высокого разрешения WavePro HDR, которая обеспечивает теперь высокоточные измерения в полосе до 8 ГГц. Кроме цифровых осциллографов, компания «Teledyne LeCroy» выпускает анализаторы протоколов. Это широкий класс приборов для тестирования устройств передачи данных как на физическом, так и на логическом уровне. В этой области «Teledyne LeCroy» также занимает лидирующие позиции и предоставляет решения для всех современных протоколов передачи последовательных данных (<http://lecroy-rus.ru/>).



Из табл. 1 видно, что для случая без учета потерь $P_{in} = 962$ мВт, а $P_{out} = 408$ мВт. Такое различие (более чем в 2 раза) трудно объяснить однозначно, однако, вероятнее всего, отличие вызвано отражениями из-за рассогласованности каждой из мод с внутренним сопротивлением генератора и нагрузки. Такое рассогласование вызывает большое количество отражений сигнала от концов линии, каждое из которых вносит существенный вклад в общую мощность сигнала на концах линии. Детальное выявление причин различия мощностей в начале и конце линии требует проведения дополнительных исследований и далее в работе рассматриваться не будет. Также из табл. 1 видно последовательное уменьшение мощности сигнала в начале и конце линии при учете потерь. Так, например, для случая одновременного учета потерь в проводниках и диэлектрике уменьшение мощности сигнала в начале и конце линии, относительно случая без потерь, составляет 8,84 и 19,36% соответственно. Из табл. 2 также видно уменьшение мощности сигнала при учете потерь. Однако влияние потерь в диэлектрике на мощность в начале линии выражено меньше (5,46%) по сравнению с результатами квазистатического моделирования (6,44%). Это может быть вызвано различием численных методов при моделировании и подходов к учету потерь в диэлектрике. Наконец, отметим, что полученные оценки мощности при квазистатическом и электродинамическом анализе хорошо согласуются качественно: потери в проводниках и диэлектрике оказывают существенное влияние на рассеяние мощности сигнала, а уменьшение мощности сигнала в конце линии из-за потерь может достигать 20% от случая без потерь. Количественные отличия оценок обусловлены разными подходами к моделированию.

Заключение

В работе произведён анализ рассеяния мощности СКИ в витке меандровой линии задержки. Для этого выполнено квазистатическое и электродинамическое моделирование линии. В результате оценок, произведённых на основе результатов моделирования, подтверждено значительное влияние потерь на форму сигнала в конце линии. Показано отличие результатов применённых видов моделирова-

ния при различных случаях учёта потерь. Предположены причины отличия результатов.

Программная реализация выполнена в рамках государственного задания № 8.9562.2017/БЧ Минобрнауки России. Моделирование выполнено за счет гранта РФФИ №18-37-00339 в ТУСУРе.

Литература

1. Петкау О. Защита объектов топливно-энергетического комплекса от угроз электромагнитного воздействия / О. Петкау, А. Тарабцев, А. Дерябин и др. // Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. – 2014. – № 2 (6). – С. 74–76.
2. Surovtsev R.S. Possibility of Protection Against UWB Pulses Based on a Turn of a Meander Microstrip Line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, A.M. Zabolotsky // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – Vol. 58, No. 6. – P. 1864–1871.
3. Surovtsev R.S. Influence of losses on ultrashort pulse decomposition in a turn of meander microstrip line / R.S. Surovtsev, A.V. Nosov, T.T. Gazizov // 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – June 30 – July 4, 2016. – P. 151–154.
4. Paleczny E. Comparison of full wave approaches for determination of microstrip conductor losses for MMIC applications / E. Paleczny, D. Kinowski, J.F. Legier et al. // Electronics Letters. – 1990. – Vol. 26, No. 25. – P. 2076–2077.
5. Simpson T.L. Dielectric Loss in Microstrip Lines (Short Papers) / T.L. Simpson, B. Tseng // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1976. – Vol. 24, No. 2. – P. 106–108.
6. Карри С.Х. Обзор методов и подходов к оценке потерь на излучение в полосковых линиях / С.Х. Карри, Р.С. Суровцев // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». – Томск, 2018. – С. 123–126.
7. Matthaei G.L. Approximate calculation of the high-frequency resistance matrix for multiple coupled lines / G.L. Matthaei, G.C. Chinn // Microwave Symposium Digest. – 1992. – P. 1353–1354.

Карри Салим Хассанович

Магистрант ТУСУРа

Эл. почта: salim96g@gmail.com

Суровцев Роман Сергеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: surovtsvrs@gmail.com

УДК 04.514

А.А. Квасников, Е.В. Лежнин, S. Raguin

Совершенствование программного модуля оценки эффективности экранирования корпусом

Усовершенствован программный модуль оценки эффективности экранирования корпусом. Добавлены новые методы оценки эффективности экранирования. Расширены возможности графического интерфейса.

Ключевые слова: программный модуль, компьютерное моделирование, эффективность экранирования, Qt, QML, C++.

Одним из конструкторских средств обеспечения электромагнитной совместимости является экранирование, повсеместно применяемое в радиоэлектронной аппаратуре [1]. Эффективность экранирования (ЭЭ) может быть вычислена с помощью различных аналитических и численных методов. Аналитические методы целесообразно использовать на начальных этапах разработки для предварительной оценки ЭЭ корпусом. Так, известны методы оценки ЭЭ корпусом с несколькими апертурами [2–4]. В работе [5] представлены результаты разработки программного модуля для оценки ЭЭ корпусом с апертурой. Однако возможно совершенствование существующего программного модуля добавлением новых функциональных возможностей и вычислительных методов.

Цель работы – освещение результатов совершенствования программного модуля оценки ЭЭ корпусом. Для достижения этого решены следующие задачи: усовершенствован графический интерфейс программного модуля, расширены его функциональные возможности и добавлены новые методы вычисления.

Совершенствование функциональных возможностей

Существующий программный продукт, выполняющий оценку ЭЭ корпусом с апертурой, содержит ряд недостатков. Так, в нем отсутствуют возможности вычисления ЭЭ корпусом с несколькими апертурами, а также вычисления ЭЭ на основе S -параметров. Графический интерфейс также требует доработки: отсутствуют возможность двумерного отображения результатов и механизм оценки затраченного времени.

В ходе работы функционал программного модуля усовершенствован с помощью новых вычислительных алгоритмов и возможностей. При разработке использован язык программирования C++ с применением возможностей платформы Qt и набора соответствующих библиотек [6]. Оболочка программного модуля разработана с применением технологии Qt Quick, особенностью которой является разделение декларативного способа описания дизайна интерфейса и императивной логики программирования. Аналитические методы вычисления ЭЭ корпусом с несколькими апертурами [2–4] и функция вычисления ЭЭ на основе S -параметров [7] вынесены в класс calculation в соответствии с существующей архитектурой системы.

Графический интерфейс разработанного модуля претерпел изменения. Были добавлены графические/текстовые элементы, отражающие количество итераций и время в секундах, затраченные на вычисление ЭЭ (без учета процесса отрисовки изображения) (рис. 1). Данная особенность реализована путем добавления комбинации из счетчиков и таймеров в разные части программы, а также соединения этих частей через систему сигналов и слотов [8].

В раздел «Моделирование» были добавлены новые поля ввода данных для работы алгоритмов

расчёта ЭЭ (рис. 2). Значения в полях «M ar» и «N ar» соответствуют числу апертур по горизонтали и вертикали. В поля «dh» и «dv» задаются расстояния между центрами апертуры по горизонтали и вертикали. Изменение и загрузка значений полей пользовательского интерфейса отражаются динамически в соответствии с моделью приложения. В данном случае представлена реализация схемы разделения данных приложения, пользовательского интерфейса и управляющей логики на три отдельных компонента: модель, представление и контроллер — таким образом, что модификация каждого компонента может осуществляться независимо.

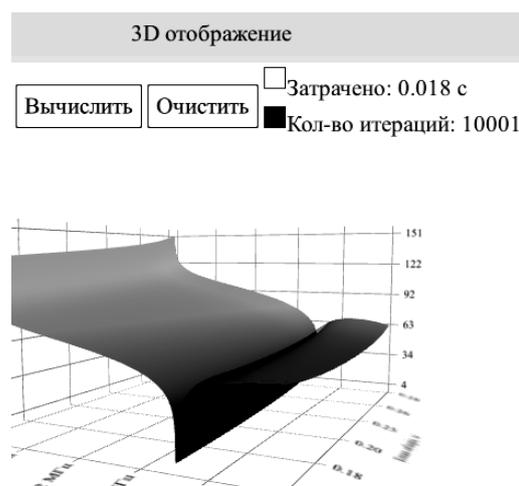


Рис. 1. Счетчик затраченного времени и количество итераций

Корпус		
A	B	D
0.3	0.12	0.3
t		Sigma
0.0015		3.7e+7
dh	dv	
0.02	0.02	

Рис. 2. Раздел «Моделирование»

В выпадающий список «Функция» раздела «Вычисления» добавлены 3 новых вычислительных метода и вариант загрузки входного файла из внешнего источника (рис. 3). Процесс загрузки входных данных из другого файла проходит в несколько этапов. По нажатии на элемент «Выбрать файл» создается стандартное диалоговое окно выбора файла (рис. 4). В модель передаются полный путь до выбранного файла и его расширение. При вычислении ЭЭ с помощью соответствующего метода происходит построчный разбор ASCII файла. Стоит отметить, что загрузка файлов имеет ограничения на формат входных документов (только .txt) и на вид входных строк (значения в строках должны быть разделены символом табуляции).

В раздел «Результат» был добавлен прототип двумерного отображения полученных результатов (рис. 5). В дальнейшем планируется расширить функционал с помощью различных вариантов отображения графика, выбора цветовой палитры, настройки осей, возможности изменения графика в соответствии с изменением точки наблюдения P и т.д. В данный момент пользователю доступна навигация с помощью указателя мыши и масштабирование с помощью ее колеса.

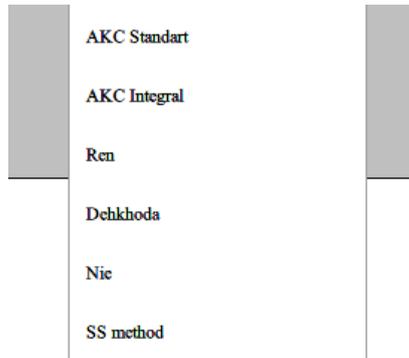


Рис. 3. Список доступных функций вычисления ЭЭ в разделе «Вычисление»

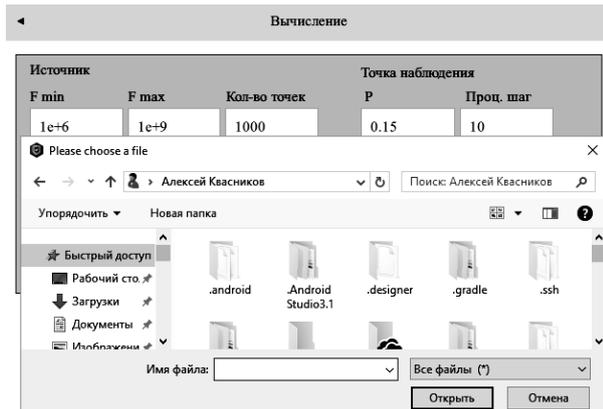


Рис. 4. Диалоговое окно загрузки файла входных данных

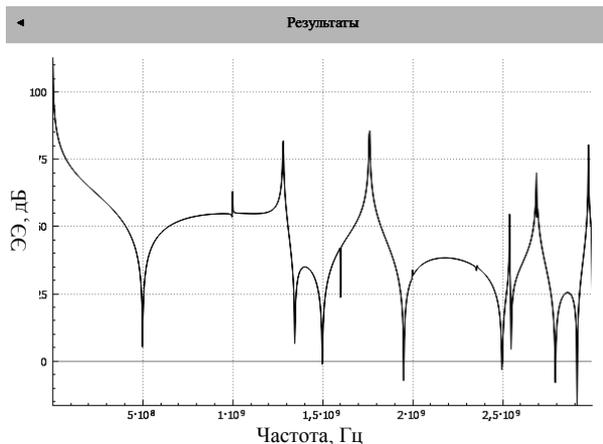


Рис. 5. Прототип функционала двумерного отображения результатов

Вычислительный эксперимент

В ходе работы проведены исследования зависимости быстродействия программы от параметров алгоритма (количество точек наблюдения, количество

во частотных точек) на основе тестовых запусков программы. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика методов вычисления ЭЭ программного модуля. Ввиду того, что разработанные методы не являются итерационными, не содержат интегралов и не зависят от параметров точности, трудоемкость алгоритмов является линейной. Она может быть выражена в виде формулы (в общем виде) – количество частотных точек \times количество точек наблюдения. Смоделирован запуск программы при следующих введенных параметрах: количество точек наблюдения – 100, точка наблюдения $P = 0,15$ м, параметры источника: $F_{\min} = 10^6$ Гц, $F_{\max} = 3 \times 10^9$ Гц, кол-во частотных точек – 10000. Параметры корпуса и апертуры – по умолчанию. Размеры корпуса – $0,3 \times 0,12 \times 0,3$ м, размеры апертуры – $0,012 \times 0,012$ м. Далее используем следующие обозначения, алгоритм, основанный на работе [2] – алгоритм Dekkhoda, в работах [3, 4] – Ren и Nie соответственно.

Таблица 1

Вычислительные затраты на анализ ЭЭ корпусом

Алгоритм	Dekkhoda	Ren	Nie
T , мс	12590	11977	11689
Число итераций	1000000	1000000	1000000

Из результатов видно, что значения времени, затраченного на работу алгоритма, отличаются для каждого из методов. Такой результат обусловлен внутренними различиями в структуре кода методов. Для наглядности в качестве варьируемой переменной выбрано количество точек наблюдения. В табл. 2 приведены данные тестирования.

Таблица 2

Время вычислений при изменении количества точек наблюдения, с

Кол-во точек	Dekkhoda	Ren	Nie
10	0,294	0,299	0,525
100	2,76	3,46	5,243
200	8,205	10,124	16,546
1000	30,136	66,793	86,056

На основании результатов тестирования можно сделать вывод, что алгоритм Nie имеет наибольшую трудоемкость, временные затраты которого при установленном количестве точек наблюдения – 1000 могут достигать 86,056 с. На рис. 6–8 представлены графические результаты моделирования реализованных функций вычисления ЭЭ корпусом с несколькими апертурами. С помощью полученных данных можно произвести предварительную оценку ЭЭ корпусом на разных частотах при изменении точки наблюдения.

Для ускорения процесса математических операций использована технология программирования многопоточных приложений OpenMP [9]. В табл. 3 приведены сравнительные результаты затраченного времени на вычисления значений ЭЭ внедренных и уже имеющихся вычислительных алгоритмов программного модуля с и без применения технологии.

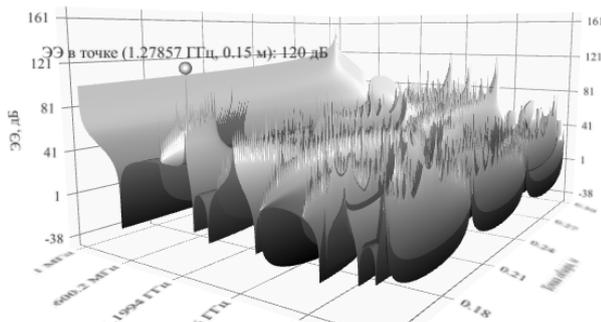


Рис. 6. Результаты моделирования функцией Ren

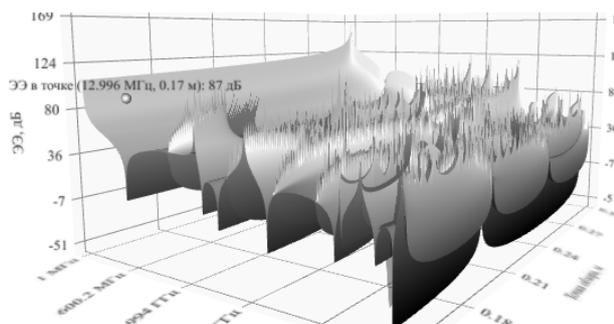


Рис. 7. Результаты моделирования функцией Dekhoda

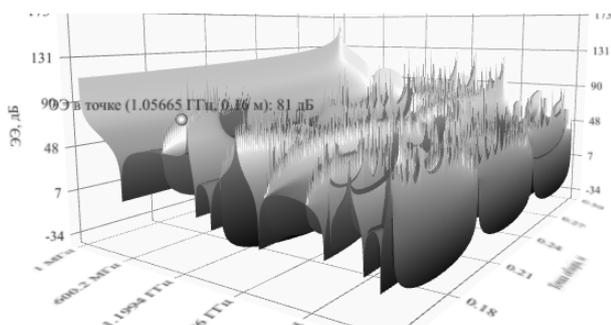


Рис. 8. Результаты моделирования функцией Nie

Таблица 3

Время вычислений без и с OpenMP, с

Алгоритм	Без OpenMP	С OpenMP
Robinson	5,776	8,124
YongShi	3048,745	3117,559
Poad	53,654	22,898
Poad +	93,813	33,581
Poad x	95,639	33,368
AKC	7,805	9,241
AKC int	93,267	37,721
Ren	85,088	87,009
Dekhoda	67,079	79,294
Nie	39,205	41,843

На основе полученных данных можно сделать вывод – применение технологии OpenMP позволяет сократить время на работу алгоритмов с нелинейной трудоемкостью, но может привести к увеличению количества времени в иных случаях ввиду того, что заполнение модели данных полученными значениями должно выполняться в строгом порядке, не предусматривающем распараллеливание.

Заключение

Архитектура программного модуля оценки ЭЭ корпусом, пользовательский интерфейс и функционал усовершенствованы в соответствии с требова-

ниями к продукту. Разработанный функционал позволяет производить расчёт ЭЭ корпусом с несколькими апертурами, а также расчет ЭЭ на основе S-параметров. В модуль встроен функционал подсчета количества итераций и затраченного времени. С помощью разработанного программного средства выполнен вычислительный эксперимент. Так, оценено влияние параметров алгоритма на скорость работы программы.

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. – Томск, ТУСУР, 2016. – 216 с.
2. Ren D. A fast calculation approach for the shielding effectiveness of an enclosure with numerous small apertures / D. Ren, P. Du, Y. He et al. // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – P. 1033–1041.
3. Dekhoda P. An efficient shielding effectiveness calculation (a rectangular enclosure with numerous square apertures) / P. Dekhoda, A. Tavakoli, R. Moini // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2007. – P. 9–13.
4. Nie B.L. An improved circuit method for the prediction of shielding effectiveness of an enclosure with apertures excited by a plane wave / B.L. Nie, P.A. Du, P. Xiao // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2017. – P. 1–8.
5. Квасников А.А. Разработка программного модуля для вычисления эффективности экранирования корпусом с апертурой // Научная сессия ТУСУР–2018: матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 16–18 мая 2018 г. – Т. 2. – С. 263–266.
6. Сайт инструментария Qt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.qt.io/>, свободный (дата обращения: 16.07.2018).
7. Shourvarzi M. Shielding effectiveness estimation of a metallic enclosure with an aperture using S-parameter analysis: analytic validation and experiment / A. Shourvarzi, M. Joodaki // IEEE Trans. On Electromagn. Compat. – 2017. – Vol. 59, No. 2. – P. 537–540.1.
8. Qt documentation: Signals and Slots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.qt.io/qt-5/signalsandslots.html>, свободный (дата обращения: 19.07.2018).
9. OpenMP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.openmp.org>, свободный (дата обращения: 10.08.2018).

Квасников Алексей Андреевич
 Магистрант каф. ТУ ТУСУРа
 Эл. почта: aleksejkvasnikov@gmail.com

Лежнин Евгений Владимирович
 Аспирант каф. АСУ ТУСУРа
 Эл. почта: zlvlezhnin@gmail.com

Simon Raguin
 Student, EPITECH European Institute of Technology, Paris
 E-mail: simon.raguin@epitech.eu