

# 1 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «РАСЧЕТ-ЭМВ»

## ОПИСАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

### 1. Функциональное назначение

Функциональным назначением ПО «Расчет-ЭМВ» является расчетная оценка воздействия высокочастотных ЭМП различного происхождения на образцы СТО, а также на аппаратуру, системы и устройства образцов СТО на основе конструкторских 3D-моделей на стадиях проектирования, проведения исследовательских, доводочных и предварительных испытаний СТО.

Функциональные возможности ПО «Расчет-ЭМВ» включают создание электронных моделей образцов СТО и их компонентов в графическом редакторе либо импорт моделей из САД-пакетов, создание математических моделей СТО и их кабельной сети для моделирования и расчётов, автоматическое адаптивное наложение расчётной сетки, расчет с использованием специализированных решателей, задание параметров высокопроизводительных вычислений на локальных и распределённых вычислительных системах, постобработка результатов расчёта, визуализация, экспорт полученных данных. Основным результатом расчёта и моделирования являются амплитудно-частотные или временные зависимости токов и напряжений на входах аппаратуры и устройств.

### 2. Область применения

ПО «Расчет-ЭМВ» является программным средством для инженерных расчетов, позволяющим решать задачи:

- оценки защищенности аппаратуры, систем и устройств образцов СТО в условиях воздействия высокочастотных ЭМП различного происхождения, в том числе гармонических ЭМП в диапазоне частот от 0.1 до 1000 МГц;
- оценки эффективности мер электромагнитной защиты, применяемых в разрабатываемом образце СТО;
- оптимизации конструкции образца СТО и топологии БКС для снижения уровней наведенных токов и напряжений на входах аппаратуры при воздействии внешних высокочастотных ЭМП.

Под воздействиями ЭМП здесь понимаются воздействия различных электромагнитных факторов естественного и искусственного происхождения. К ним относятся:

- поля РПС и РЛС,
- ЭМИ,
- электростатические разряды,
- поля и токи молниевых разрядов,
- электромагнитные помехи различного вида (излучаемые и кондуктивные, непрерывные и импульсные) от различных технических средств.

ПО «Расчет-ЭМВ» может быть использовано на стадиях проектирования, проведения исследовательских, доводочных и предварительных испытаний и не предназначено для эксплуатационных расчетов СТО.

ПО обеспечивает:

- экспорт в заданном формате адаптированных конструкторских 3D-моделей образцов СТО;
- создание расчетных 3D-моделей образцов СТО, моделей БКС образцов СТО, в качестве нагрузок, в которых задаются входные сопротивления блоков бортовой аппаратуры;
- расчета токов и напряжений на входах бортовой аппаратуры расчетных 3D-моделей образцов СТО.

В результате расчета выдаются амплитудно-частотные или временные зависимости токов и напряжений на входах блоков аппаратуры в соответствии с используемыми моделями образца СТО и его БКС.

### **3. Информация об истории развития ПО, его предыдущие версии и аналоги, имеющийся опыт эксплуатации**

Наличие полных отечественных аналогов ПО «Расчет-ЭМВ» на момент его создания – неизвестно.

Наиболее близким иностранным аналогом ПО «Расчет-ЭМВ» в части используемых в данном ПО методов является комплекс программ Altair Feko [1].

#### **4. Программные требования**

ПО «Расчет-ЭМВ» обеспечивает работоспособность под управлением операционной системы Windows 10, Astra Linux 1.7, CentOS 7.7 и выше, СПО Супер-ЭВМ 2.0 и выше, Арамид 3.3 и выше.

#### **5. Аппаратные требования**

Для клиентской части ПО «Расчет-ЭМВ» (программный модуль RWEditor) ПЭВМ с характеристиками:

- универсальный процессор Intel Core I7 или аналогичный по производительности;
- оперативная память – не менее 16 Гб;
- HDD – не менее 1 Тб;
- видеокарта с производительностью не менее карты NVIDIA GTX 1080 (или аналогичной), поддерживающей OpenGL версии не ниже 3.3;
- монитор;
- мышь и клавиатура.

Для серверной части ПО «Расчет-ЭМВ» (модули решатели) с учетом возможности массово-параллельных вычислений – вычислительная система в следующем техническом составе:

- не менее двух серверов с универсальными процессорами Intel Xeon 6 и выше, либо процессорами AMD EPYC и выше;
- оперативная память серверов – не менее 168 Гб;
- HDD сервера – не менее 1 Тб;
- видеоускоритель на сервере – NVIDIA V100 и выше;
- ПЭВМ для доступа к ВВС с вышеуказанными характеристиками.

#### **6. Описание решаемой задачи**

6.1. Задача, решаемая с помощью ПО «Расчет-ЭМВ» имеет следующую постановку.

На модель образца СТО с произвольного направления воздействует внешнее ЭМП с заданными параметрами (тип воздействия (импульсное или гармоническое), частота (полоса частот), поляризация векторов  $E$  и  $H$ , ближняя или дальняя зона и др.). Требуется рассчитать распределение ЭМП снаружи и внутри корпуса образца, токи в элементах корпуса, токи в экранах жгутов бортовой кабельной сети, а также токи, напряжения, либо выделяемую мощность в нагрузках, представляющих собой входные цепи блоков аппаратуры образца СТО. Рассчитанные величины токов, напряжений и мощности на входах блоков аппаратуры используются на этапах проектирования, испытаний и доводки для оценки стойкости и безопасности образца СТО в условиях воздействия ЭМП естественного или искусственного происхождения.

В разработанной версии ПО для оценки воздействия ЭМП на образцы СТО используется метод моментов [2] с RWG базисными функциями [3], задаваемыми на треугольных элементах поверхности, и кусочно-линейными базисными функциями, задаваемыми на проволочных отрезках, а также базисными функциями специального вида, заданными на участках геометрии вблизи точек соединения проволочной части геометрии с поверхностями. Выбор этого метода расчета обусловлен тем, что он обеспечивает наибольшее соответствие расчетных моделей физическим процессам, протекающим в элементах и системах реальных объектов, хорошо подходит для моделирования задач излучения, задач с металлическими поверхностями и тонкими проволоками, хорошо работает при моделировании структур с включенными в них сосредоточенными элементами.

Для оценки токов в БКС объекта необходимо использование методов, основанных на теории линий передачи с распределенными параметрами, поскольку моделирование кабельных линий полноволновыми методами (как метод моментов) неэффективно. В разработанной версии ПО используется математический аппарат теории MTL [4].

При оценке результатов воздействия ЭМП на объекты исследований используется подход, при котором задача о воздействии внешнего ЭМП на аппаратуру объекта разбивается на две последовательно решаемых задачи. Первой задачей является расчет токов, возбуждаемых полем в корпусе объекта, корпусах его аппаратуры и экранах кабельных линий БКС. Токи, наведенные в экранах кабельных

линий, являются исходными данными при решении второй задачи – оценке токов в нагрузках кабельных линий (то есть на входах устройств). Данный подход основан на предположении, что токи, возбуждаемые при воздействии внешнего ЭМП во внутренних проводниках БКС, намного меньше по уровням токов, наводимых в экранах кабелей. Это позволяет при решении первой задачи пренебречь токами во внутренних проводниках БКС и их влиянием на токи в экранах кабелей, корпусах объекта и его устройств и на величины внешнего по отношению к экранам БКС поля.

6.2. В соответствии с принятым разработчиками подходом, на первом этапе расчета задаются параметры воздействующего ЭМП и моделируется корпус объекта с экранами БКС и корпусами аппаратуры. Это обусловлено тем, что в заданном диапазоне частот расположены основные резонансы корпусов СТО, экраны бортовой кабельной сети имеют гальванический контакт с корпусом объекта, поля внутри корпуса сильно неравномерны, а их распределение зависит от угла падения ЭМП на объект исследований. На этом этапе с использованием метода моментов рассчитываются токи, наведенные на экраны БКС.

Корпус исследуемого объекта, корпуса его устройств моделируются с помощью поверхностей – идеально проводящих или обладающих определенным сопротивлением (поверхностным импедансом). С целью численного расчета все поверхности аппроксимируются плоскими треугольными элементами, на которых базисные и весовые функции типа RWG. Экраны БКС моделируются с использованием тонкопроволочного приближения, поскольку их поперечные размеры в рассматриваемом диапазоне частот намного меньше длины волны воздействующего поля. Это позволяет снизить размерность задачи. При этом используется аппроксимация экранов кабельных линий прямолинейными проволочными отрезками заданного радиуса с определенными на них кусочно-линейными базисными функциями. Система RWG функций и заданных на проволочных отрезках кусочно-линейных функций дополнена базисными функциями специального вида, заданными на участках геометрии вблизи точек соединения кабельных линий с поверхностями, моделирующими корпуса аппаратуры СТО.

6.3. На втором этапе при расчете токов в нагрузках кабельных линий используется метод, основанный на теории линий передачи с распределенными

параметрами и математическом аппарате теории МТЛ. В создаваемой для расчета на данном этапе модели БКС используется информация о топологии БКС, характеристиках экранов и проводников кабелей, схемах соединения проводников и входных сопротивлениях устройств. Рассчитанные на первом этапе значения протекающих по экранам БКС токов используются как исходные данные для расчета.

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

БКС	–	бортовая кабельная сеть
ПО	–	программное обеспечение
ПЭВМ	–	персональная электронно-вычислительная машина
РЛС	–	радиолокационные станции
РПС	–	радиопередающие системы
СПО	–	системное программное обеспечение
СТО	–	сложный технический объект
ЭМП	–	электромагнитное поле
MTL	–	multiconductor transmission line

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНЫХ ДОКУМЕНТОВ

- 1 [Электронный ресурс]. – [www.feko.info/](http://www.feko.info/).
- 2 R. F. Harrington. Field Computation by Moment Method. – New York: Mc'Millan Company, 1968. – 229 p.
- 3 S. M. Rao, D. R. Wilton, A. W. Glisson. Electromagnetic Scattering by Surface of Arbitrary Shape // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1982. – Vol. 30, no. 3. – P. 409 – 418.
- 4 Clayton R. Paul. Analysis of multiconductor transmission lines. – 2nd ed. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. – 771 p.