

Программный комплекс оценивания влияния источников непреднамеренных помех на спутниковые ретрансляторы отечественных систем связи

И. Н. Сиротин, А. Д. Амельченко
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского
vka@mil.ru

Аннотация. Представлен программный комплекс оценки влияния источников непреднамеренных помех (ИНП) на спутниковые ретрансляторы систем связи при решении задач электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; радиомониторинг; источник радиоизлучения

I. ВВЕДЕНИЕ

К 2030 году с учетом запущенных и планируемых к запуску такими компаниями как SpaceX, OneWeb, Amazon и StarNet космических аппаратов только на околоземной орбите может достигнуть ста тысяч [1].

Частотный диапазон, в котором работают космические аппараты различного назначения, простирается до 75 ГГц.

Для устойчивого развития и универсального доступа к электросвязи и информационным сетям для населения всего мира создан Международный союз электросвязи (МСЭ). МСЭ определяет стандарты и дает рекомендации, касающиеся сферы радио- и телекоммуникаций. Стандарты, разрабатываемые МСЭ, не являются обязательными, однако рекомендации этого союза широко поддерживаются всеми странами-участницами [2].

С учетом приведенных выше факторов, актуальной является задача обеспечения требований электромагнитной совместимости при работе систем спутниковой связи, передачи и ретрансляции данных разных государств.

В статье рассматривается следующая ситуационная задача: при вводе в эксплуатацию нового радиоэлектронного средства (РЭС), предназначенного для передачи информации с Земли на борт спутникового ретранслятора (СР), необходимо оценить возможность функционирования этого РЭС не создавая непреднамеренных помех другим спутниковым ретрансляторам, работающим в смежных частотных диапазонах (рис. 1).

При оценке ЭМС РЭС каждый раз рассматривается дуэльная ситуация: РЭС-источник непреднамеренных помех – СР и решаются следующие задачи:

- определение потенциально несовместимых РЭС;
- расчет отношения мощности непреднамеренной помехи P_c к мощности шума $P_{ш}$ на входе приемного устройства СР;
- выводы о ЭМС пары РЭС-ИНП – СР по результатам сравнения $P_c/P_{ш}$ с допустимым уровнем.

Пары РЭС считаются потенциально несовместимыми, если в результате частотного анализа выявлен хотя бы один из каналов проникновения помех. Частотный анализ является одним из начальных этапов расчетной оценки ЭМС и включает в себя определение частотных каналов проникновения непреднамеренных помех в радиоприемное устройство.

Процесс выявления частотных каналов включает в себя предварительную частотно-энергетическую оценку и анализ частотных совпадений.

Предварительная частотно-энергетическая оценка проводится с целью отбора РЭС («приемников» / «передатчиков») для последующего анализа ЭМС, в результате чего исключаются те пары «приемников» и «передатчиков», которые значительно отличаются рабочими частотами и являются совместимыми, т.е. если

$$f_1 > 5 f_2, \quad (1)$$

где f_1 – частота излучения (приема), а f_2 – частота приема (излучения).

При установлении факта частотных совпадений осуществляется поиск каналов воздействия радиопомех [7].

II. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ СРЕДСТВ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОМОНИТОРИНГА

Оценивание энергетической доступности – это процедура, в ходе которой устанавливается возможность обработки радиосигнала контролируемого РЭС при заданных параметрах радиоприемных и анализирующих средств БСА КА РМ.

Методика оценки энергетической доступности содержит ряд этапов:

1. формирование массива исходных данных по объекту и средству РМ;
2. расчетная часть (расчет отношения сигнал/шум на входе приемного устройства РМ);
3. оценка результатов и формирование выводов.

Для расчета отношения P_c/P_n применяются следующие выражения:

$$h = 10 * \lg(P_c / P_n), \quad (1)$$

где h – отношение мощности сигнала к мощности шума, дБ; P_c – мощность излучения на входе системы обработки, Вт; P_n – пороговая чувствительность РПУ, Вт.

$$\lambda = c / f, \quad (2)$$

где λ – длина волны излучения ИНП, м; c – скорость света, м/с; f – частота излучения, Гц.

$$P_{ex} = \frac{P_{изл} * G_{прд} * G_{прм} * \lambda^2}{(4 * \pi)^2 * d^2}, \quad (3)$$

где $P_{изл}$ – мощность излучения ИНП, Вт; $G_{прд}$ – коэффициент усиления передающей антенны, $G_{прм}$ – коэффициент усиления приемной антенны, d – расстояние от РЭС-ИНП до текущего положения СР.

$$P_{ex} = \frac{P_{изл} * G_{прд} * G_{прм} * \lambda^2}{(4 * \pi)^2 * d^2} * F(\theta, \gamma, f), \quad (4)$$

где $F(\theta, \gamma, f)$ – функция ослабления (по мощности).

$$F(\theta, \gamma, f) = F(\theta, \gamma) * F_{АИ}(f) * F_n, \quad (5)$$

где $F(\theta, \gamma)$ – функция ослабления, характеризующая прием сигнала от ИНП по боковому лепестку диаграммы, соответствующему по азимуту углу θ , по углу места γ , $F_{АИ}(f)$ – функция ослабления, характеризующая затухание энергии электромагнитной волны при ее распространении через ионосферу и атмосферу, F_n – коэффициент поляризационных потерь мощности ЭМВ при распространении через ионосферу.

Для принятия решения об энергетической доступности объекта РМ по результатам расчетов применяются следующие критерии:

$h < 10$ дБ – энергетическая доступность объекта РМ не обеспечивается,

$10 < h \leq 15$ дБ – энергетическая доступность объекта РМ обеспечивается в режиме обзора,

$h \geq 15$ дБ энергетическая доступность объекта РМ обеспечивается в режиме обзора и анализа.

Для автоматизации расчетов по оценке ЭМС РЭС разработан программный комплекс (рис. 1–5).

В окне «Выбор исходных данных по объекту контроля» (рис. 2) осуществляется выбор типа и варианта РЭС, а также вводятся географические координаты его размещения на земной поверхности. Технические характеристики РЭС автоматически формируются из заранее сформированной базы данных. При этом к каждому варианту типа РЭС создана таблица исходных данных (F , $G_{прд}$, $G_{прм}$, F_n , d , $P_{изл}$, P_n), которые автоматически загружаются в программу для дальнейших расчетов (рис. 3).

В окне «Выбора исходных данных по средству РМ» осуществляется выбор КА РМ (рис. 4). При этом каждому КА в программе сопоставляется траектория его движения на околоземной орбите.

В окне «Отображения исходных данных на карте» (рис. 4) осуществляется отображение выбранного РЭС, являющегося источником радиоизлучения (ИРИ), и прорисовывается траектория движения КА РМ. В этом же окне осуществляются расчеты времени доступности объектов контроля в течение суток с учетом зон радиовидимости КА РМ.

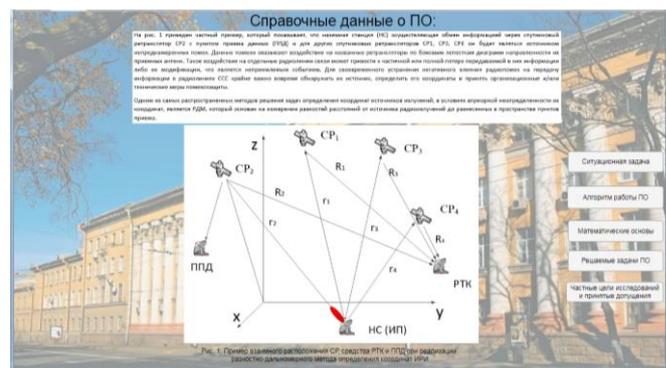


Рис. 1. Справочная информация

В окне «Расчета и выводы по оценке парной ЭМС» осуществляется расчет значений отношения мощности сигнала к мощности шума на входе приемного устройства РМ (рис. 5). Также в данном окне программы с учетом заданных критериев осуществляется отображение результатов расчета и вывода по электромагнитной совместимости выбранных РЭС.

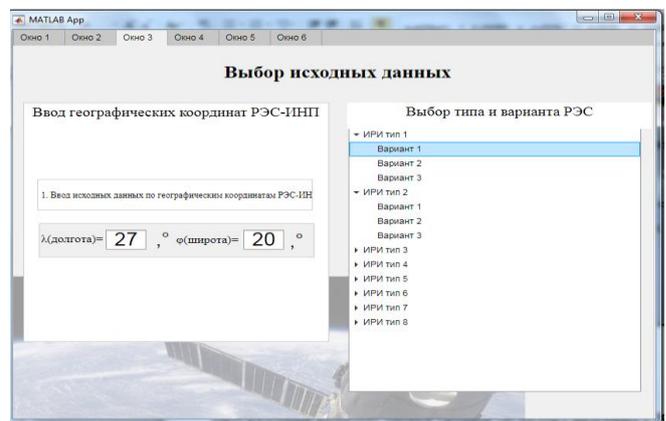


Рис. 2. Пример выбора исходных данных по объекту контроля

Система	Длина, МГ	Длина, МГ	f, МГц	P _c , МВ	D _c , дБ	D _c , рм	P _c D _c , Вт	P _c D _c , дБ	D _{пр} , дБ/о	прм, м	F
ГлобСис	400	500	430	1	40	10000	100000000	100	25	-30	1
Бинакс	400	500	430	1	40	10000	100000000	100	25	-30	1
Спутник	1100	1400	1250	10	40	10000	10 ⁻¹¹	110	25	-30	1
ГРО (Сис)	9000	10000	9500	1	40	10000	100000000	100	25	-30	1
ГРО (Сис)	4300	5000	4150	2	40	10000	200000000	105,0103	25	-30	1
ГРО (Сис)	9000	10000	9500	4	40	10000	400000000	104,021999	25	-30	1
ГРО	9000	10000	9500	1	40	10000	100000000	100	25	-30	1
ГРО	9000	10000	9500	10	40	10000	1,0E-11	112,041398	25	-30	1
КС	430	490	450	32	40	10000	3,2E-11	115,071498	25	-30	1
РП	1000	1000	2000	0,5	40	10000	500000000	96,007004	25	-30	1

Рис. 3. Исходные данные по объекту контроля

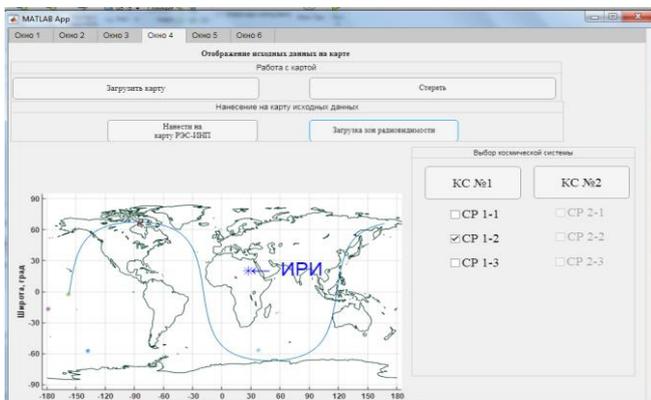


Рис. 4. Пример выбора исходных данных по средству РМ

Разработанное программное обеспечение также позволяет определять частные тактико-технические требования к средству космического РМ. На этом этапе по результатам анализа технических характеристик группы РЭС к средству РМ предъявляются требования по диапазону рабочих частот, а по результатам анализа графика $(P_c/P_{ш})_{вх\ рму}(h)$ – требования к высоте орбиты КА РМ для обеспечения гарантированного обнаружения объектов радиомониторинга.

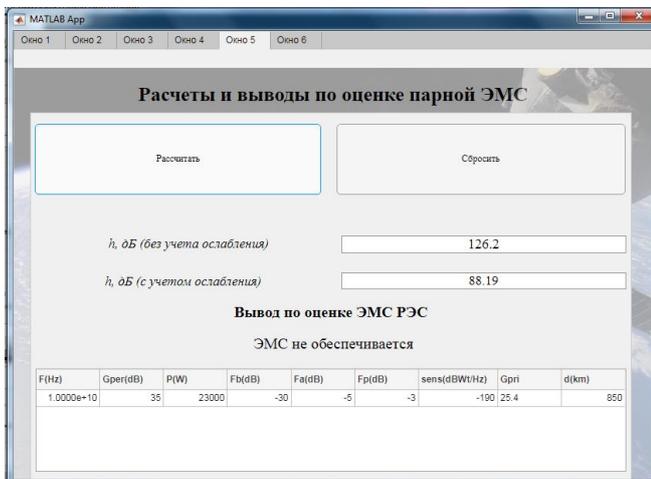


Рис. 5. Результаты расчета

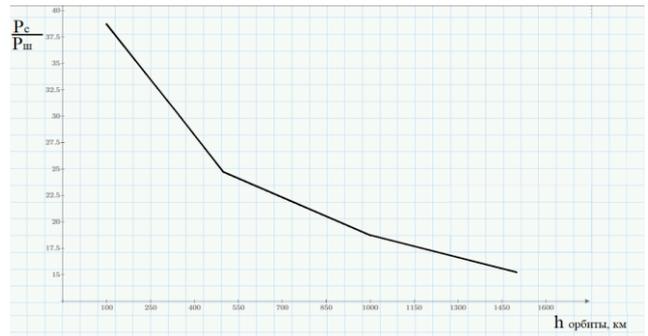


Рис. 6. График зависимости ОСШ и высоты орбиты

ТАБЛИЦА I. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ИСТОЧНИКА РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Мощность излучения, кВт	Диапазон рабочих частот, ГГц	Частота следования импульсов, Гц	Длительность импульса, мкс	Частота вращения об/мин
100	8...12,5	3000	0,5...1	30

Анализ графика, приведенного на рис. 6, показал, что для выбранного объекта контроля высота орбиты КА РМ должна быть не более 1500 км.

Для предъявления требований по высоте орбиты КА РМ при анализе большого количества рассматриваемых РЭС необходимо построить подобные графики для каждого историка радиоизлучения.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие и высокое разнообразие РЭС приводит к сложностям в области электромагнитной совместимости РЭС. Для отечественных систем РМ предъявляются высокие требования.

Разработанное программное обеспечение позволяет проводить предварительную оценку энергетической доступности объектов РМ, в качестве которых могут рассматриваться любые РЭС излучающие радиосигналы.

Разработанное программное обеспечение также позволяет определять частные тактико-технические требования к средству космического РМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сиротин И.Н., Вознюк В.В., Зайцев С.А. Модифицированный разностно-дальномерный метод определения местоположения источников помех системам спутниковой связи на основе принципа пространственно распределенной ретрансляции сигналов и помех // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. Вып. 3-4 (141-142). С. 43-52.
- [2] Клименко Н.Н. Современные низкоорбитальные космические аппараты для геолокации и идентификации источников радиоизлучений // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2 (95). С. 48-57.
- [3] Теоретические основы радиолокации: учебн. пособие для вузов / А.А. Коростелев, Н.Ф. Клюев, Ю.А. Мельник; под ред. В.Е. Дулевича. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сов. радио, 1978. 608 с.
- [4] Сайбель А.Г. Введение в теорию определения местоположения объектов радиотехническими методами. Уч. пос. СПб. ВКА. 2000.
- [5] Вознюк В.В., Зайцев С.А. Космическая система радиотехнического мониторинга на основе группировки низкоорбитальных малогабаритных космических аппаратов // Известия ВУЗов Приборостроение том 48 №6 2005г. с. 26-30.