

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА НА АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (НА ПРИМЕРЕ САМОЛЕТА БОИНГ 737)

Исследовано влияние мощного электромагнитного импульса ядерного взрыва на радиосвязные и навигационные антенно-фидерные устройства летательного аппарата. Предложены первые методики оценки воздействия мощных импульсов для разных типов бортовых антенн: вибраторных, апертурных и рамочных. Определены антенные системы, наиболее подверженные влиянию мощных электромагнитных полей.

Ключевые слова: электромагнитный импульс ядерного взрыва, радиосвязные и навигационные антенны, бортовое оборудование.

Прохождение мощного электромагнитного импульса (ЭМИ) через антенно-фидерные устройства (АФУ) летательного аппарата (ЛА) является основной причиной искажения информации в приемных трактах радиоэлектронных средств (РЭС) [2],[3]. Воздействие ЭМИ на радиоприемник приводит к кратковременному выделению на его входе большой электродвижущей силы (ЭДС), которая может вызвать изменение режимов работы каскадов приемника, нагрев, расплавление или выгорание отдельных элементов схемы, что в свою очередь приведет к потере радиосвязи между наземными и самолетными радиостанциями, а также между самолетами, к сбою навигационных и опознавательных систем.

В связи с усовершенствованием и усложнением РЭС, увеличением их быстродействия проблема оценки и обеспечения стойкости к воздействию мощного ЭМИ становится наиболее актуальной [3],[5].

Меры, направленные на повышение стойкости РЭС непосредственно связаны с расчетной оценкой уровней наведенных напряжений и токов на входах антенных систем. Методы оценки стойкости РЭС и антенных систем ЛА, предложенные в [6],[7], основаны на решении интегро-дифференциальных уравнений при использовании численных методов, таких, как метод моментов, метод сингулярных разложений и т. д. Эти методы достаточно сложны, требуют разработки больших программ и значительных затрат машинного времени.

Таким образом, **целью статьи является** разработка методики оценки воздействия мощных электромагнитных полей по антенно-фидерно-

му тракту. Такая методика должна удовлетворять требованиям универсальности, т. е. возможности её применения для любого типа летательного аппарата, что позволит упростить расчетные соотношения и уменьшить вычислительные затраты.

При этом наибольший интерес представляет решение следующих вопросов:

1. Оценка полной энергии, амплитуды и формы помехи в АФУ в полосе пропускания приемного тракта;
2. Предварительная оценка возможных последствий, вызванных прохождением энергии ЭМИ через АФУ.

1. Источники мощных ЭМИ

Основными источниками мощных электромагнитных излучений естественного и искусственного происхождения являются: грозовые разряды, мощные радиопередающие средства (РПС) и радиолокационные станции (РЛС), высоковольтные линии электропередач (ВЛЭП), контактная сеть железных дорог (КСЖД), а также генераторы сверхширокополосного и микроволнового излучения. Наиболее мощным искусственным источником электромагнитного излучения является ядерный взрыв (ЯВ). Импульсные электромагнитные поля, возникающие при ядерном взрыве, принято называть электромагнитным импульсом ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ).

В соответствии со стандартом МЭК серии 61000 [1] выделяют три стадии развития высотного ядерного взрыва: ранняя, промежуточная и поздняя. На рисунке 1 представлен ЭМИ ЯВ на ранней стадии.

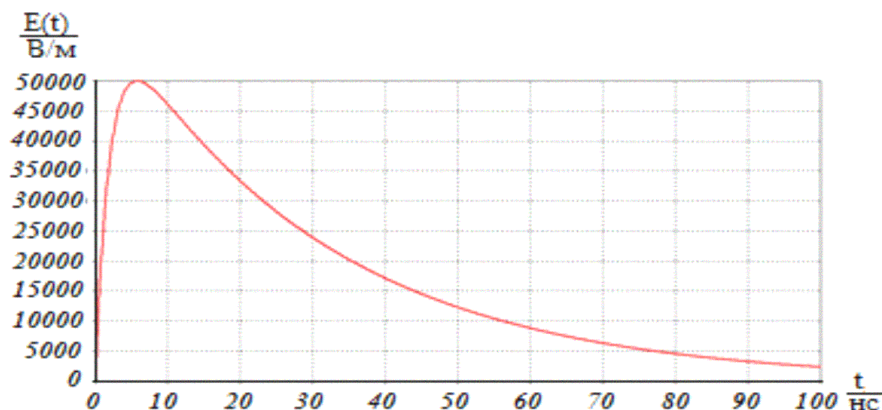


Рисунок 1. ЭМИ ЯВ на ранней стадии

Для всех стадий поведение электрического поля определяется соотношением [2]

$$E(t) = E_{\max} k(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad (1)$$

где E_{\max} – максимальная амплитуда импульса, В/м. Для ранней стадии ЭМИ ЯВ имеет максимальную амплитуду 50 кВ/м; k – нормировочный коэффициент $k=1,3$ (для ранней стадии, $k=1$ для промежуточной стадии); α, β – показатели экспоненты, c^{-1} (для ранней стадии $\alpha=4 \cdot 10^7 c^{-1}$, $\beta=6 \cdot 10^8 c^{-1}$; для промежуточной – $\alpha=10^3 c^{-1}$, $\beta=6 \cdot 10^8 c^{-1}$).

2. Методика расчета воздействия ЭМИ на вибраторные антенны

В тех случаях, когда каналом проникновения ЭМИ в аппаратуру являются вибраторные антенны, могут быть использованы различные модели и методы расчета процессов под влиянием импульсных электромагнитных полей. Наиболее общей исходной моделью являются уравнения Максвелла с соответствующими граничными условиями в виде интегро-дифференциального уравнения [4]. Однако, этот метод достаточно сложен и требует разработки трудоемких программ и значительных затрат машинного времени. Полезным приближением являются модели антенн в виде линий передачи – теория длинных линий [5]. Согласно данному методу через значение действующей длины антенны определяется ЭДС, наводимая на входе АФУ. Достоинство этого подхода заключается в сравнительной простоте и наглядности, возможности получения приближенных аналитических решений.

На вход радиоприемника действует та часть электромагнитного поля (ЭМП), которая проходит через вибраторную антенну. Поэтому наиболее полным будет рассмотрение процессов, возникающих под действием ЭМП в системе «антенна-радиоприемник».

В теории антенн ЭДС на входе вибраторной антенны определяется как [3]

$$\varepsilon = E_{\max} l_d \cdot F(\theta, \varphi) \quad (2)$$

где l_d – действующая длина антенны, м;

$F(\theta, \varphi)$ – нормированная диаграмма направленности антенны в направлении, определяемом углами θ и φ . Будем рассматривать предельный случай, когда $F(\theta, \varphi) = 1$.

Так, действующая длина симметричного полуволнового вибратора $l_d = \lambda/\pi$, а несимметричного четвертьволнового вибратора $l_d = \lambda/2\pi$. Отметим, что для директорных антенн поле от каждого излучателя складывается синфазно.

3. Методика расчета воздействия ЭМИ на апертурные антенны

Кроме вибраторных антенн в бортовой авиационной аппаратуре используются также апертурные антенны (зеркальные, рупорные и др.). При оценке проникновения ЭМИ через такие антенны используется энергетическая концепция эффективной площади, основанная на сравнении воздействующей на каскад или тракт РПУ энергии с допустимой, при которой происходит существенное изменение показателей антенны. Через площадку S , перпендикулярную направлению распространения ЭМИ, проходит энергия [3]

$$W = \frac{S}{2Z_0} \int_0^{\infty} E^2(t) dt, \quad (3)$$

где E – напряженность электрического поля ЭМИ, а начало отсчета времени совпадает с моментом прихода ЭМИ;

Z_0 – характеристическое сопротивление свободного пространства, $Z_0=377$ Ом; S – площадь раскрытия антенны.

Вместо S необходимо подставить $S_{\text{эф}}$ – эффективную площадь раскрытия антенны, которая связана с геометрической площадью соотношением [4]

$$S_{\text{эф}} = \nu \cdot S, \quad (4)$$

где ν – коэффициент использования площади антенны, зависящий от неравномерности амплитудно-фазового распределения поля в апертуре антенны и всегда меньше единицы. При равно-амплитудном синфазном распределении $\nu=1$ Принимается $\nu = 0,5-0,6$, так как мощность, которая отдается приемной антенной в согласованную нагрузку уменьшается за счет потерь.

Подставив (4) в (3), получим определение энергии в частотной области

$$W = \frac{S_{\text{эф}}}{2Z_0} \int_{\omega_1}^{\omega_2} |E(j\omega)|^2 d\omega, \quad (5)$$

Найдем выражение для энергии W в случае воздействия мощного ЭМИ, описываемым двухэкспоненциальным выражением. В данном случае спектральная плотность ЭМИ выражается как:

$$E(j\omega) = E_{\text{max}} \left(\frac{1}{j\omega + \alpha} - \frac{1}{j\omega + \beta} \right), \quad (6)$$

Квадрат модуля спектральной плотности определяется:

$$|E(j\omega)|^2 = E_{\text{max}}^2 \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\frac{1}{\alpha^2 + \omega^2} - \frac{1}{\beta^2 + \omega^2} \right), \quad (7)$$

Подставив (7) в (5), получим

$$\begin{aligned} W &= \frac{S_{\text{эф}}}{2Z_0} \int_{\omega_1}^{\omega_2} E_{\text{max}}^2 \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\frac{1}{\alpha^2 + \omega^2} - \frac{1}{\beta^2 + \omega^2} \right) d\omega = \\ &= \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \left(\frac{1}{\alpha^2 + \omega^2} - \frac{1}{\beta^2 + \omega^2} \right) d\omega = \end{aligned}$$

$$= \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{\alpha^2 + \omega^2} d\omega - \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{\beta^2 + \omega^2} d\omega \right) =$$

$$= \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \times \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \times$$

$$\left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{\alpha^2 + \omega^2} d\omega - \frac{1}{\beta^2} \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{\frac{\omega^2}{\beta^2} + 1} d\omega \right) =$$

$$= \left\{ u = \frac{\omega}{\beta}; du = \frac{1}{\beta} d\omega \rightarrow \int \frac{1}{u^2 + 1} = \text{arctg}(u) \right\} =$$

$$= \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \times \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{\alpha^2 + \omega^2} d\omega - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\beta} [\text{arctg}(u_2) - \text{arctg}(u_1)] \right) =$$

$$= \left\{ f = \frac{\omega}{\alpha}; df = \frac{1}{\alpha} d\omega \rightarrow \int \frac{1}{f^2 + 1} = \text{arctg}(f) \right\} =$$

$$= \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\frac{1}{\alpha} [\text{arctg}(f_2) - \text{arctg}(f_1)] - \frac{1}{\beta} \times \right.$$

$$\left. \times [\text{arctg}(u_2) - \text{arctg}(u_1)] \right) =$$

$$= \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \left[\text{arctg} \left(\frac{\omega_2}{\alpha} \right) - \text{arctg} \left(\frac{\omega_1}{\alpha} \right) \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\beta} \left[\text{arctg} \left(\frac{\omega_2}{\beta} \right) - \text{arctg} \left(\frac{\omega_1}{\beta} \right) \right] \right), \quad (8)$$

Таким образом, энергия помехи на входе приемного тракта в полосе его пропускания для апертурной антенны определяется как

$$W = \frac{E_{\text{max}}^2 S_{\text{эф}}}{2Z_0} \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha} \left(\frac{1}{\alpha} \left[\text{arctg} \left(\frac{\omega_2}{\alpha} \right) - \text{arctg} \left(\frac{\omega_1}{\alpha} \right) \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{\beta} \left[\text{arctg} \left(\frac{\omega_2}{\beta} \right) - \text{arctg} \left(\frac{\omega_1}{\beta} \right) \right] \right), \quad (9)$$

где ω_1 – нижняя рабочая частота системы;
 ω_2 – верхняя рабочая частота системы.

4. Методика расчета воздействия ЭМИ на рамочные антенны

В отдельный класс выделяются рамочные антенны. Для таких антенн ЭДС, наводимая в витках рамки, определяется скоростью изменения магнитного потока [5]

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (10)$$

величина которой, в свою очередь, зависит от числа витков n , их площади S , абсолютной магнитной проницаемости сердечника рамки μ_a , напряженности магнитного поля приходящей волны H , ориентации рамки относительно угла θ в горизонтальной плоскости между нормалью к фронту падающей волны и плоскостью рамки. С учетом вышесказанного ЭДС в рамке будет равна

$$\varepsilon = -j\omega\mu_a nS\dot{H}\sin\theta, \quad (11)$$

Формула может быть представлена в другом виде для свободного пространства

$$\varepsilon = -jknSE\sin\theta, \quad (12)$$

где k – волновое число, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Наличие мнимой единицы в формуле (12) свидетельствует о том, что ЭДС в рамке отстает по фазе на $\pi/2$ от напряженности электрического поля приходящей волны.

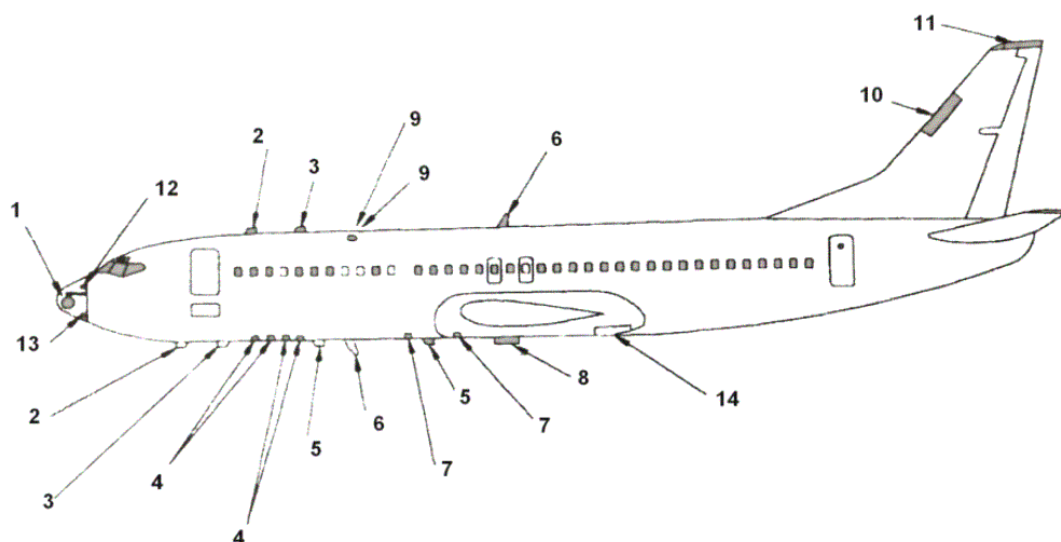
5. Вычисление наводок в антенных системах самолета Боинг 737

Авиационные радиопередачи подразделяются на связь, навигацию и опознавание. Решение столь разнообразных задач обеспечивается антеннами различных типов. На рисунке 2 показано размещение антенн на корпусе самолета Боинг 737.

Рассчитано воздействие мощного ЭМИ на входы приемных трактов АФУ согласно представленной методики. За исходные данные расчетов принято, что максимальная напряженность поля $E_{\max} = 50$ кВ/м, соответствующая ГОСТу. Параметры и характеристики оборудования, а также вычисленные наводимая ЭДС (для вибраторных антенн) и энергия помехи (для апертурных антенн) представлены в таблице 1.

6. Вычисление воздействия МЭМП на вибраторные антенны с помощью эквивалентных схем

Оценить влияние ЭМИ на бортовые вибраторные антенны можно, используя методы расчета переходных процессов в антеннах под влиянием импульсных электромагнитных полей. Для этого следует определить ток антенны в приемном режиме. В качестве основы



1 – метеолокатор; 2 – антенна системы предупреждения столкновений; 3 – антенна системы управления воздушным движением; 4 – радиовысотомер; 5 – антенна радиодальномерной системы; 6 – антенна командной станции УКВ; 7 – рамочная антенна радиопеленгатора; 8 – антенна маркерной системы; 9 – GPS антенны; 10 – антенна связной станции КВ; 11 – антенна системы VOR; 12 – глассадная антенна; 13 – курсовая антенна; 14 – ненаправленная антенна радиопеленгатора.

Рисунок 2. Размещение антенн на корпусе самолета Боинг 737

Таблица 1. Параметры и характеристики оборудования, а также вычисленные наводимая ЭДС (для вибраторных антенн) и энергия помехи (для апертурных антенн)

Тип	Частоты, МГц	Тип антенны	Размер антенн	Действующая длина, м	Поляризация поля	ЭДС (на f_c) или энергия помехи
Связная станция КВ	2 – 30	пазовая (щель в корпусе)	$l=1,72$ м	$l_{возбуст} = 0,23$	вертик	22,5 кВ
Командная станция УКВ	118 – 137	четверть-волновый вибратор	$l=0,41$ м	0,187	вертик	18,7 кВ
Маркерное оборудование	75	вибратор	$l=0,24$ м	$l_D = l_A = 0,24$ м	вертик	24 кВ
Система управления воздушным движением	ПРМ-1030 ПРД-1090	лопастного типа четверть волн. вибратор	$l_{лоп} = 0,058$ м	0,046	вертик	2,3 кВ
Система предупред. столкновений	ПРМ-1090 РД-1030	директорная из 4х элементов	$l=0,16$ м	$l_D = 4l_{Дол} = 0,18$	вертик	8,8 кВ
Радиовысотомер	4200-4400	рупорная	$a_p = 0,048$ м $b_p = 0,069$ м	–	вертик	$5 \cdot 10^{-15}$ кВт
Оборудован. радиодальномерной системы	962-1215	лопастного типа	$l_{лоп} = 0,058$ м	0,044	вертик	2,2 кВ
Оборудование угломерной системы посадки	108-118	четверть-волновый вибратор	0,53 м	0,42	горизонт	21 кВ
	108-112	четверть-волновый вибратор	0,5 м	0,43	горизонт	21,5 кВ
	328,6-335,4	директорн. из 2х элементов	0,4 м	$2l_{Дол} = 0,37$	горизонт	12 кВ
Радиопеленгатор	0,15-1,75	вертикальный штырь	0,2 м	0,1	кругов	5 кВ
Метеорологический радиолокатор	9300-9500	многощелевая АР с волноводным входом	$S=0,395$ м ²	–	кругов	$2,56 \cdot 10^{-8}$ кВт
Система GPS	1575,42	микрорешетчатая	$a=0,12$ м $b=0,07$ м	–	эллипт.	$7,8 \cdot 10^{-10}$ кВт

анализа применяется метод, базирующийся на представлении антенн эквивалентными схемами Тевенина.

При этом если линейный размер антенны, взаимодействующей с помехонесущим полем, мал, то анализ её взаимодействия с ЭМП значительно упрощается, т. е. эквивалентные схемы используются, если [4]

$$l \leq ct_\phi \quad (13)$$

где t_ϕ – длительность фронта ЭМИ;

c – скорость распространения электромагнитных волн.

В зависимости от того, будет ли линейный размер антенны меньше, соизмерим или больше длины волны внешней помехи, может быть применен при анализе соответственно квазистатический, резонансный или волновой подход.

Рассмотрим применение резонансного подхода. Антенна в общем случае является резонансной системой с большим числом резонансных точек. Основной вклад в резонансные явления, которые наблюдаются в антенне, вносит точка первого резонанса.

Хорошую аппроксимацию низкочастотных характеристик антенн можно получить с помощью эквивалентной схемы, приведенной на рисунке 3, где первая резонансная точка антенны моделируется введением последовательной индуктивности L_p , образующей резонансный контур с емкостью антенны C_a на частоте первого резонанса, возбуждаемого эффективной ЭДС [4]

$$f_p = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{4l}. \quad (14)$$

Сопротивление R_Σ (рисунок 3) – сопротивление излучения антенны в первой резонансной точке. Оно составляет 35 Ом для несимметричного вибратора и 70 Ом для полуволнового.

Из эквивалентной схемы видно, что наведенный в антенне ток описывается выражением:

$$I(\omega) = \frac{E(\omega) \cdot l_D}{(j\omega C_a)^{-1} + j\omega L_p + R_\Sigma + R_H}. \quad (15)$$

В общем случае напряжение на нагрузке антенны R_H при внешнем воздействии ЭМИ в форме экспоненциального импульса согласно [7]

$$U_R(t) = E_{\max} l_D C_a \omega_p R_H (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \sin \omega_p t \quad (16)$$

Для определения напряжений и токов, наведенных в бортовых антеннах, необходимо знать их электрические параметры, которые соответствуют элементам, входящим в эквива-

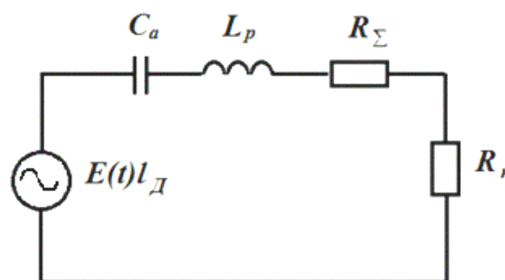


Рисунок 3. Низкочастотная резонансная схема замещения несимметричного вибратора

лентную схему замещения, и находятся в прямой зависимости от линейных размеров и конструктивных особенностей антенн. В таблице 2 приведен расчет электрических характеристик бортовых антенн, наиболее подверженных влиянию мощного ЭМИ.

Таким образом, приближенное аналитическое выражение для максимального наведенного напряжения можно представить:

$$U_{\max} = E_{\max} l_D C_a \omega_p R_H. \quad (17)$$

Как следует из (17) реакция бортовых антенн на импульсное воздействие следующая: максимальное наведенное напряжение для командной станции УКВ принимает значение 72,04 кВ; для оборудования угломерной системы посадки – 22,49 кВ; для бортовой системы предупреждения столкновений – 11,75 кВ; для маркерного оборудования – 7,23 кВ.

Таблица 2. Расчет электрических характеристик бортовых антенн, наиболее подверженных влиянию мощного ЭМИ

Тип	Антенна	Электрические характеристики			
		L_p , Гн		C_a , Ф	
		Расчетная формула	Значение	Расчетная формула	Значение
Станция УКВ	несимметричный вибратор	$\frac{1}{\omega_p^2 C_a}$	$2,82 \cdot 10^{-8}$	$\frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2l}{a}\right) - 1}$	$6,7 \cdot 10^{-12}$
Маркерное оборудование	симметричный вибратор	$\frac{1}{\omega_p^2 C_a}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$\frac{\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2l}{a}\right) - 1}$	$3,07 \cdot 10^{-12}$
Оборудование угломерной системы	несимметричный вибратор	$\frac{1}{\omega_p^2 C_a}$	$2,95 \cdot 10^{-8}$	$\frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2l}{a}\right) - 1}$	$9,55 \cdot 10^{-12}$
Система предупреждения столкновений	несимметричный вибратор	$\frac{1}{\omega_p^2 C_a}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$\frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2l}{a}\right) - 1}$	$4,99 \cdot 10^{-12}$

Выводы

Результаты проведенных расчетов по методике показывают:

1. Значения наведенных напряжений на нагрузке антенны могут быть значительными, что подтверждается проведенными вычислениями. Так при воздействии на антенну командной станции УКВ электромагнитного поля с амплитудой $E_{max} = 50$ кВ/м и временными параметрами $\alpha = 4 \cdot 10^7$ с⁻¹, $\beta = 6 \cdot 10^8$ с⁻¹ можно ожидать значения напряжения, наведенного на ее 50-омной нагрузке, равное 72,04 кВ;

2. На входы угломерной системы посадки и бортовой системы предупреждения столкновений наведенные напряжения могут достигать значений 22,49 кВ и 11,75 кВ соответственно;

3. Незначительное влияние будет оказываться на такие устройства, как радиовысотометр, метеорологический радиолокатор и система GPS, поскольку антенны таких систем относятся к апертурным, а результаты расчета показывают, что данный тип в меньшей степени реагирует на ЭМИ ЯВ;

Полученные результаты показывают, что воздействие ЭМИ ЯВ на антенные системы приведет к образованию сильных помех, что может привести к выходу из строя станции УКВ без установки защитного устройства.

Полученные результаты показывают, что образование помех от воздействия ЭМИ ЯВ на антенные системы без защитного устройства может привести к выходу из строя станции УКВ.

1.05.2014

Список литературы:

1. МЭК 61000-1-3. Электромагнитная совместимость (ЭМС). «Устойчивость к электромагнитному импульсу высотного ядерного взрыва (ЭМИ ВЯВ)», 2003.
2. Балюк, Н.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты / Н.В. Балюк, Л.Н. Кечиев, П.В. Степанов. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 478 с.
3. Balanis, C.A. Antenna Theory. Analysis and Design / C.A. Balanis. – Wiley & Sons, 2nd edition, 1997. – 600 p.
4. Вольман, В.И. Техническая электродинамика / В.И. Вольман, Ю.В. Пименов. – М.: Радио и связь, 1995. – 298 с.
5. Мырова, Л.О. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям / Л.О. Мырова, А.З. Чепиженко. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с.
6. Матье, М. Радиорелейные системы передачи / М. Матье; пер. Л.О. Мыровой; под ред. В.В. Маркова. – М.: Радио и связь, 1982. – 280 с.
7. Кинг, Р. Антенны в материальных средах. 2 книги; пер с англ. / Р. Кинг, Г. Смит. – М.: Мир, 1984. – 416 с.

Сведения об авторах:

Семенов Анатолий Александрович, аспирант кафедры проектирования и технологии радиоэлектронных средств Оренбургского государственного университета

Пивоваров Валерий Викторович, доцент Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук

460000, г. Оренбург, Шарлыкское шоссе 5, ауд. 14402, тел. (3532) 372556,
e-mail: toliksem@rambler.ru