

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

**Щербаков Виталий Александрович,**

к.т.н., докторант военной академии ракетных войск стратегического назначения им.Петра Великого, Московская область, г.Балашиха, Россия

**Васильев Владимир Алексеевич,**

к.т.н., доцент военной академии ракетных войск стратегического назначения им.Петра Великого, Московская область, г.Балашиха, Россия

## АННОТАЦИЯ

Неотъемлемой частью современного театра военных действий являются средства радиоэлектронной борьбы, основным предназначением которых является снижение эффективности применения противником своих сил и средств путем воздействия на радиоприемные устройства, которыми оснащены эти силы и средства, средствами радиоэлектронного подавления. Для приведенного примера, в качестве номинального, параметра объекта радиоподавления, характеризующего эффективность применения объекта до начала реализации мероприятий радиоподавления, может выступать объем информации, передаваемой и принимаемой в контуре управления системы между звеньями управления различного уровня, который, с учетом того, что полоса частот спектра помех и полоса пропускания радиоприемного устройства объекта, подлежащего радиоподавлению совпадают, очевидно, будет снижаться, тем самым характеризуя эффективность применения системы радиоподавления с одной стороны, и свойства помехо-устойчивости и помехозащищенности объекта, с другой стороны. Таким образом, можно сделать заключение о том, что фактическим объектом радиоподавления служит определенный параметр, значения которого могут быть изменены за счет реализации мероприятий по радиоподавлению. Для описания математической модели процесса радиоподавления радиоэлектронной системы, в качестве объекта радиоподавления рассмотрим систему разведки радиоизлучений. Рассматриваемая система преследует три основных цели - обнаружение излучения, распознавание источника излучения и определение его места положения. Не вызывает сомнения, тот факт, что основным параметром, определяющим возможность достижения ранее указанных целей является энергетическая составляющая принимаемого сигнала, действующая на входе приемного тракта радиоприемного устройства, характеризуемая отношением сигнал/шум. Приведенный пример радиоподавления системы разведки радиоизлучений демонстрирует зависимость возможностей системы, подвергшейся радиоподавлению, от воздействия помехами на её приемные средства и позволяет выделить параметр, характеризующий эффективность радиоподавления. В качестве такого параметра выступает среднеквадратическая ошибка определения местоположения источника радиоизлучения, которая тем больше, чем меньше отношение сигнал/шум. Приведенная в статье математическая модель позволяет проводить оценку эффективности мероприятий противодействия различным радиоэлектронным средствам, в частности эффективность их радиоподавления.

**Ключевые слова:** процесс радиоподавления; радиоэлектронная система; процесс подавления; радиоэлектронная борьба; угол пеленгации.

**Для цитирования:** *Щербаков В.А., Васильев В.А.* Математическая модель радиоэлектронного подавления радиоэлектронной системы // I-methods. 2017. Т. 9. № 1. С. 20-24.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что фактическим объектом радиоподавления служит определенный параметр, значения которого могут быть изменены за счет реализации мероприятий по радиоподавлению.

Для описания математической модели процесса радиоподавления радиоэлектронной системы, в качестве объекта радиоподавления рассмотрим систему разведки радиоизлучений.

Рассматриваемая система преследует три основных цели – обнаружение излучения, распознавание источника излучения и определение его места положения.

Не вызывает сомнения, тот факт, что основным параметром, определяющим возможность достижения ранее указанных целей является энергетическая составляющая принимаемого сигнала, действующая на входе приемного тракта радиоприемного устройства, характеризуемая отношением сигнал/шум.

Приведенный пример радиоподавления системы разведки радиоизлучений демонстрирует зависимость возможностей системы, подвергшейся радиоподавлению, от воздействия помехами на её приемные средства и позволяет выделить параметр, характеризующий эффективность радиоподавления. В качестве такого параметра выступает среднеквадратическая ошибка определения местоположения источника радиоизлучения, которая тем больше, чем меньше отношение сигнал/шум.

Приведенная в статье математическая модель позволяет проводить оценку эффективности мероприятий противодействия различным радиоэлектронным средствам, в частности эффективность их радиоподавления.

Современные военные действия осуществляются непосредственно в условиях воздействия средства радиоэлектронной борьбы. Их основная задача заключается в снижении эффективности применения противником своих сил и средств путем воздействия на радиоприемные устройства, которыми оснащены эти силы и средства, средствами радиоэлектронного подавления (радиоподавления) [1].

Здесь необходимо отметить физическую сущность самого процесса радиоподавления объекта, который, по сути, является сложной, состоящей из нескольких этапов, процедурой, включающей:

воздействие радиопомех на приемный тракт радиоприемного устройства объекта, подлежащего радиоподавлению;

регистрация радиоприемным устройством объекта воздействующих на него помех;

дальнейшие действия объекта с учетом принятой радиоприемным устройством информацией.

Формально, эффективность радиоподавления объекта, в качестве которого может выступать, например, система управления частями и подразделениями, обеспечивающая циркуляцию информации между составными элементами объекта по радиоканалам, может быть представлена в виде

$$E_r^{(0)} = \frac{k_r^{(0)}}{k_i^{(0)}} \cdot 100, \text{ при условии, что } k_r^{(0)} \leq k_i^{(0)} \quad (1)$$

где:  $k_r^0$  – номинальный, параметр объекта радиоподавления, характеризующий эффективность применения объекта до начала реализации мероприятий радиоподавления;  $k_i^0$  – ожидаемое (рассчитанное) значение номинального, параметра объекта с учетом воздействия помех (реализации мероприятий радиоподавления).

Для приведенного примера, в качестве может выступать объем информации, передаваемой и принимаемой в контуре управления системы между звеньями управления различного уровня, который, с учетом того, что полоса частот спектра помех и полоса пропускания радиоприемного устройства объекта, подлежащего радиоподавлению совпадают, очевидно, будет снижаться, тем самым характеризуя эффективность применения системы радиоподавления с одной стороны, и свойства помехоустойчивости и помехозащищенности объекта, с другой стороны.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что фактическим объектом радиоподавления служит определенный параметр, значения которого могут быть изменены за счет реализации мероприятий по радиоподавлению.

Для описания математической модели процесса радиоподавления радиоэлектронной системы, в качестве объекта радиоподавления рассмотрим систему разведки радиоизлучений.

Рассматриваемая система преследует три основных цели – обнаружение излучения, распознавание источника излучения и определение его места положения.

Не вызывает сомнения, тот факт, что основным параметром, определяющим возможность достижения ранее указанных целей является энергетическая составляющая принимаемого сигнала, действующая на входе приемного тракта радиоприемного устройства, характеризуемая отношением сигнал/шум.

Отношение сигнал/шум на входе разведывательного приемника, в момент отсутствия радиоподавления, зависит от мощности информационного сигнала и спектральной плотности мощности шума  $\sigma_{\text{ш}}^2$  [2]

$$q = \frac{P_c}{\sigma_{\text{ш}}^2} \quad (2)$$

Учитывая, что мощность шумов на входе разведывательного приемника зависит от собственных шумов приемного устройства и шумов антенны, а их абсолютные величины много меньше мощности помехового сигнала, ширина спектра которого равна ширине спектра информационного сигнала и известна, значениями этих величин можно пренебречь и выражение (1) примет вид

$$q = \frac{P_c}{P_n} \quad (2)$$

Известно, что мощность сигнала РЭС в точке приема можно оценить при помощи следующего выражения [2]

$$P_c = \frac{9 \cdot 10^4 \cdot P_n \cdot 10^{0,1(G_c(f_c)+G_p(f_c))}}{(4\pi)^2 \cdot D_n^2 \cdot f_c^2} \quad (3)$$

где:  $P_n$  – мощность источника излучения РЭС, передающего полезный сигнал;

$G_c(f_c)$  – коэффициент усиления антенны РЭС, передающего полезный сигнал на частоте ;

$G_p(f_c)$  – коэффициент усиления антенны РЭС, принимающего полезный сигнал на частоте ;

$D_n$  – расстояние от РЭС, передающего полезный сигнал, до РЭС, принимающего полезный сигнал, м.

Мощность помехового сигнала, оказывающего воздействие на этот же приемник, также может быть оценена посредством выражения (3), только с учетом конструктивных особенностей передатчика помех и условий ведения радиоподавления

$$P_c = \frac{9 \cdot 10^4 \cdot P_n^* \cdot 10^{0,1(G_c(f_c)+G_p(f_c))}}{(4\pi)^2 \cdot D_n^2 \cdot f_c^2} \quad (4)$$

где:  $P_n^*$  – мощность источника излучения РЭС, передающего помеховый сигнал;

$G_c(f_c)$  – коэффициент усиления антенны РЭС, передающего помеховый сигнал на частоте ;

$G_p(f_c)$  – коэффициент усиления антенны РЭС, принимающего полезный сигнал на частоте ;

$D_n^*$  – расстояние от РЭС, передающего помеховый сигнал, до РЭС, принимающего помеховый сигнал, м.

Таким образом, с учетом выражений (3) и (4), выражение (2) примет вид

$$P_n = \frac{9 \cdot 10^4 \cdot P_n^* \cdot 10^{0,1(G_c^*(f_c)+G_p(f_c))}}{(4\pi)^2 \cdot (D_n^*)^2 \cdot f_c^2} \quad (5)$$

Предположим, что полученного значения достаточно для обнаружения и распознавания источника излучения и основной задачей системы является определение его местоположения.

С учетом сделанного предположения произведем оценку возможностей различных систем пеленгования по определению местоположения источника излучения.

С этой целью используют различные методы пеленгования, зависящие от антенных систем, размещенных на борту космического аппарата разведки и конечно же отношения сигнал/шум на входе радиоприемного устройства пеленгатора.

Предельные (потенциальные) среднеквадратические ошибки измерения угла пеленга, в зависимости от избранного метода пеленгования, могут быть рассчитаны по следующим формулам [3]

при амплитудном методе пеленгования по максимуму сигналов

$$\sigma_\varphi = \frac{\sqrt{2} \cdot \theta_a}{\sqrt{\pi \cdot q}} \quad (6)$$

при амплитудном методе пеленгования путем сравнения сигналов

$$\sigma_\varphi = \frac{\theta_a}{2\pi \cdot \sqrt{q}} \quad (7)$$

при фазовом методе пеленгования

$$\sigma_\varphi = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \sqrt{q}} \quad (8)$$

где:  $\theta_a$  – ширина диаграммы антенны пеленгатора;

$d$  – длина базы пеленгатора;

$\lambda$  – длина волны.

Очевидно, что с уменьшением  $q$ , вне зависимости от способа пеленгования, предельная (потенциальная)  $\sigma_\varphi$  среднеквадратическая ошибка измерения угла пеленга будет увеличиваться, что приведет к увеличению ошибки определения местоположения маскируемого радиоэлектронного средства.

Приведенный пример радиоподавления системы разведки радиоизлучений демонстрирует зависимость возможностей системы, подвергшейся радиоподавлению, от воздействия помехами на её приемные средства и позволяет выделить параметр, характеризующий эффективность радиоподавления. В качестве такого параметра выступает среднеквадратическая ошибка определения местоположения источника радиоизлучения, которая тем больше, чем меньше отношение сигнал/шум.

Таким образом, для проведения оценки эффективности радиоподавления в качестве  $k_r^0$ , для данной системы, выступает максимальная среднеквадратическая ошибка определения местоположения источника излучения, в

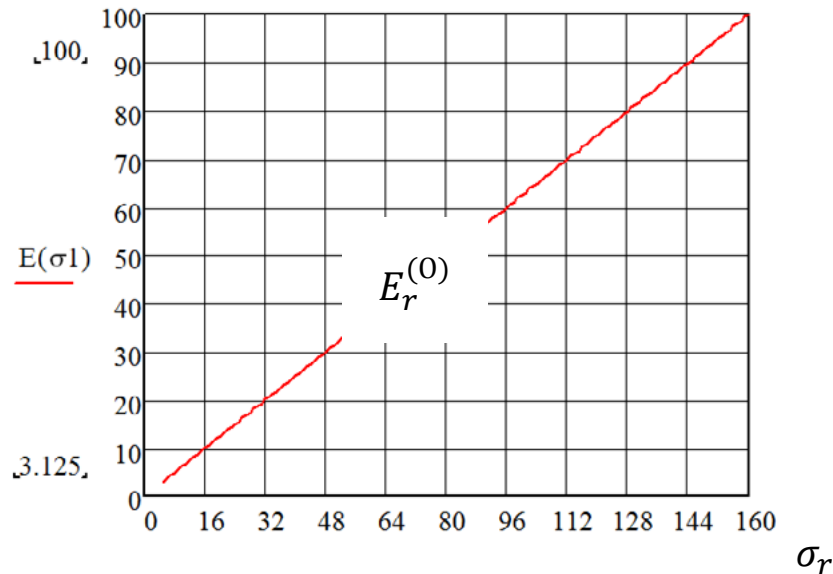


Рис. 1. Моделирование оценки ошибки определения местоположения источника излучения

условиях, когда система разведки радиоизлучений подавлена. Данный параметр может быть рассчитан с учетом существующих методик, определен экспериментально или назначен экспертами.

В качестве  $k_r^0$  целесообразно выбрать фактическую среднеквадратическую ошибку определения местоположения источника излучения, получаемую в результате проведения реальных расчетов с использованием существующих методик, с учетом фактической (реальной) помеховой обстановки.

С учетом этого выражение (1) примет следующий вид

$$E_r^{(0)} = \frac{\sigma_r}{\sigma_{max}} \cdot 100, \quad \text{при условии, что } \sigma_r \leq \sigma_{max}, \quad (1)$$

Численный эксперимент проводился с учетом следующих исходных данных: , , первоначальное значение принимается в условиях отсутствия помех, когда становится равной потенциальной ошибке системы определения местоположения источника радиоизлучения, которая может быть определена из технической документации, в данном случае рассмотрению подлежал космический аппарат (КА) радио и радиотехнической разведки типа «Ftrret-D» [4]. Затем в результате воздействия помех очевидно .

Результаты численного эксперимента, представлены на рис. 1.

Зависимость от на рис. 1 демонстрируют наличие значения – отличного от 0 и равного 3,125%, что не противоречит физической сущности ведения разведки, а лишь подчеркивает не идеальность условий её ведения, связанных с влиянием внешних факторов, таких как наклонная дальность ведения разведки, флуктуация фазы

#### Литература

1. Военно-морской словарь / под ред. Чернавина В.Н. М.: Воениздат, 1989. 511 с.
2. Техническая защита информации: В 3т. Т.1. Технические каналы утечки информации. М.: Аналитика, 2008. 436 с.
3. Агаджанов П.А., Горшков Б.М., Смирнов Г.Д. Основы радиотелеметрии. М.: Воен. изд-во МО СССР, 1971. 248 с.
4. Меньшаков Ю.К. Виды и средства иностранных технических разведок. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 656 с.

# MATHEMATICAL MODEL OF RADIOELECTRONIC PRESSING OF THE RADIOELECTRONIC SYSTEM

**Vitali A. Scherbakov,**

Moscow region, Balashikha, Russia

**Vladimir A. Vasiliev,**

Moscow region, Balashikha, Russia

## ABSTRACT

The means of electronic warfare, main purpose of which is to decrease the efficiency of enemy's use of forces and means by affecting radio receivers, which these forces and means equipped with, by means of radioelectronic jamming, are the integral part of a modern seat of war. For the above mentioned example, the volume of information (acting as a nominal parameter of the object of jamming, characterizing the efficiency of use of the object before starting jamming), transferred and received in the contour of system control between control links of different level, will apparently decrease, considering the fact that frequency band of noise spectrum and pass band of radio receiver of the object, subject to jamming, coincide, thereby characterizing the efficiency of use of jamming system on the one hand, and the property of noise immunity and jamming protection of the object, on the other. Thus, it may be concluded, that in fact the object of jamming is a certain parameter, whose value can be changed by jamming. In order to describe the mathematical model of jamming process of a radioelectronic system, the system of reconnaissance of radio emission will be examined as an object of jamming. The system under review has 3 main aims: detection of emission, recognizing emission source and detection of its location. It goes without saying, that the main parameter, determining the possibility of achievement of the above stated aims, is energetic component of received signal, functioning at input of receiver reception path, characterized by signal/noise ratio. The given example of jamming of a system of reconnaissance of radio emission demonstrates dependence of capabilities of the system, subject to jamming, on noise effect to its receiving means and allows to extract the parameter, characterizing the efficiency of jamming. Mean square error of detection of emission source location acts as such a parameter. The more it becomes, the less signal/noise ratio is. The given in the article mathematical model allows to assess the efficiency of counteraction measures to different radioelectronic means and efficiency of their jamming in particular. During the performed work the possibility of suppression of noise in the reflektogrammakh of long lines on the basis of application of algorithms of an adaptive filtration and use of technology of expert systems for increase in reliability of identification of the connected devices is shown. Result of researches was development of expert system which will allow to diagnose not only existence of not uniformity in the long line, but also to carry out identification of the connected devices.

**Keywords:** radio suppression process; radio electronic system; suppression process; electronic warfare; angle of direction finding.

## References

1. Chernavina V.N. (Ed). *Voенно-морской словарь* [Naval dictionary]. Moscow: Voenizdat, 1989. 511 p. (in Russian)
2. *Tekhnicheskaja zashhita informacii. Tekhnicheskie kanaly utechki informacii* [Technical protection of information from Technical channels of information leakage in 3 vol.]. Vol. 1 Moscow: Analitika, 2008. 436 p. (in Russian)
3. Agadzhanov P.A., Gorshkov B.M., Smirnov G.D. *Osnovy radiotelemetrii*. [Fundamentals of radio telemetry]. Moscow: Voennoe izdatel'stvo MO SSSR, 1971. 248 p. (in Russian)
4. Men'shakov Ju.K. *Vidy i sredstva inostrannyh tekhnicheskikh razvedok*. [Types and means of foreign technical intelligence]. Moscow: Moskovski Gosudarstvennyi Tekhnicheski Universitet im. N. Je. Baumana, 2009. 656 p. (in Russian)

## Information about authors:

Scherbakov V.A., doctoral student, Military Academy of Strategic Missile Forces of Peter the Great (VA Strategic Missile Forces of Peter the Great);

Vasiliev V.A., researcher, Military Academy of Strategic Missile Forces.

**For citation:** Scherbakov V.A., Vasiliev V.V. Mathematical model of radioelectronic pressing of the radioelectronic system. *I-methods*. 2017. Vol. 9. No. 1. Pp. 20-24. (In Russian)