

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО ЗАШУМЛЕНИЯ ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ ПО СТАНДАРТУ DVI

А. В. ПАРШУТКИН, А. В. ЕГИН, В. В. ВОЗНЮК, Д. В. ЛЕВИН

*Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, 197198, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru*

Рассмотрены процессы подавления технических средств перехвата побочных электромагнитных излучений при передаче данных по стандарту DVI. Предложена математическая модель формирования побочных электромагнитных излучений при функционировании растровых систем отображения информации. Приводится имитационная модель оценивания результативности воздействия помех, формируемых системой активного шумления, на техническое средство перехвата побочных электромагнитных излучений.

**Ключевые слова:** *побочные электромагнитные излучения, растровые системы отображения информации*

В современных растровых системах отображения информации (РСОИ), таких как мониторы, проекторы, видеостены и др., для обеспечения четкости изображения и высокой скорости его передачи применяются цифровые интерфейсы организации обмена данными. Наиболее распространенным стандартом цифровой передачи данных является DVI (Digital Visual Interface) [1—3]. При передаче и отображении данных в системах, использующих стандарт DVI, возникают сверхширокополосные побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) с частотами от сотен килогерц до единиц гигагерц [4—5]. Для защиты от утечки информации по каналу ПЭМИ применяются генераторы шума или системы активного шумления (САЗ) с широкополосными шумовыми помехами. Мощность излучения таких помех в ряде ситуаций является недопустимо высокой и вызывает проблемы электромагнитной совместимости. Для снижения заданной мощности излучения помех без потерь их эффективности в теории и практике радиоэлектронного подавления широко используется сочетание маскирующих (шумовых) и имитирующих (структурных) помех [2, 5—7]. В условиях неопределенности структуры и алгоритмов функционирования приемников перехвата ПЭМИ необходимо использовать оценки результативности совместного применения структурных и шумовых помех. Для формирования этих оценок требуется создание модели оптимального приемника системы перехвата для заданного сочетания сигнала ПЭМИ, помехи и шумового сигнала. Поэтому актуальность исследований, направленных на разработку математических моделей формирования и перехвата ПЭМИ в условиях применения системы активного шумления, не вызывает сомнений.

Именно эта задача является предметом исследования в настоящей статье. Созданию математических моделей предшествовали процесс уточнения модели образования ПЭМИ при передаче данных по стандарту DVI и разработка статистически оптимальной модели технического средства перехвата.

В растровых системах отображения информации могут обрабатываться статические и динамические данные. При этом единичный кадр всегда можно представить набором прямоугольных фрагментов, т.е. элементарных информационных блоков изображения  $\lambda_b$ ,  $b = 1, 2, \dots, B$ , где  $B$  — общее количество прямоугольных фрагментов, формирующих

изображение на экране монитора. Для кадра с числом строк  $M_k$  и числом пикселей в строке  $N_k$  прямоугольный блок графической информации размером  $M_s \times N_s$  можно представить матрицей яркости  $A_{M_s N_s}$ . Цвет отображаемого на экране монитора пиксела задается различными комбинациями уровней яркости трех каналов цветности (RGB). Для отдельного пиксела уровень яркости задается целым числом в диапазоне от 0 до 255. В самом общем виде элементы  $a_{mn}$  матрицы яркости являются векторами и отражают уровни яркости, каждый из которых в соответствии с алгоритмом, определенным в стандарте DVI, кодируется десятибитовой последовательностью TMDS (Transition Minimized Differential Signaling) [8]. Эта последовательность передается в виде электрического сигнала по прямому и инверсному каналам DVI, причем TMDS-код определяется не только текущим значением яркости  $a_{in}$  пиксела в соответствующем  $i$ -м,  $i \in \{R, G, B\}$ , канале цветности, но и уровнем яркости  $a_{in-1}$  предыдущего пиксела.

Передаваемые по DVI от видеоадаптера к экрану монитора прямой  $s_{ib}^{\text{п}}$  и инверсный  $s_{ib}^{\text{и}}$  сигналы в пределах блока графической информации могут быть представлены следующими выражениями:

$$s_{ib}^{\text{п}}(a_{in-1}, a_{in}, t) = \sum_{n=1}^{N_s} s_{ib}(a_{in-1}, a_{in}, t - n\tau - \xi_i^{\text{п}}(t)) \text{rect}[(t - n\tau - \xi_i^{\text{п}}(t)) / 0, 5\tau]; \quad (1)$$

$$s_{ib}^{\text{и}}(a_{in-1}, a_{in}, t) = - \sum_{n=1}^{N_s} s_{ib}(a_{in-1}, a_{in}, t - n\tau - \xi_i^{\text{и}}(t)) \text{rect}[(t - n\tau - \xi_i^{\text{и}}(t)) / 0, 5\tau], \quad (2)$$

где  $\text{rect}(z) = 1$  при  $|z| \leq 1$  и  $\text{rect}(z) = 0$  в остальных случаях;  $\xi_{ij}(t)$ ,  $j \in \{\text{п}, \text{и}\}$ , — случайные отклонения момента передачи кода соответствующего пиксела;  $\tau$  — длительность вывода сигнала одного пиксела.

Сигналу видеоадаптера присуще периодическое повторение с частотой кадров и фрагментов изображения. Поэтому при распознавании элементарного информационного блока изображения  $\lambda_b$  необходимо учитывать возможность накопления полезного сигнала на входе технического средства перехвата ПЭМИ за счет многократного повторения неизменяющихся данных, отображаемых на экране монитора. В этом случае блок  $\lambda_b$  может быть описан как сумма сигналов вида (1) и (2), который при моделировании можно представить в виде вектор-строки длиной  $N_b = KN_s M_s$ :

$$s_{ib}(\lambda_b, \alpha, t) = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_s} \sum_{n=1}^{N_s} \left\{ s_{ib}(a_{imn-1}, a_{imn}, t - t_0 - n\tau - T_c m - T_k k - \xi_{ij}(t)) \times \right. \\ \left. \times \text{rect}[(t - t_0 - n\tau - T_c m - T_k k - \xi_{ij}(t)) / 0, 5\tau] \right\}, \quad (3)$$

где  $K$  — число выводимых кадров изображения;  $T_c$  — длительность вывода одной строки;  $T_k$  — длительность вывода одного кадра изображения;  $t_0$  — момент времени начала вывода первого элемента информационного блока,  $t_0 = f(M_0, N_0)$ ;  $j \in \{\text{п}, \text{и}\}$ ;  $\alpha$  — вектор неинформативных (служебных) параметров.

Учитывая известные решения во временной области для поля элементарного излучателя, возбуждаемого коротким видеоимпульсом, электрическую  $e_b(s_b, r, t)$  составляющую электромагнитного поля на расстоянии  $r$  от источника излучения можно записать как [9]

$$e_b(s_b, r, t) = -\frac{\mu_0}{4\pi|r|} \frac{\partial}{\partial t} s_{ib}(\lambda_b, \alpha, t - r/c) \otimes \Psi^{-1}[g(f, r)], \quad (4)$$

где  $\mu_0$  — магнитная проницаемость окружающей среды,  $c$  — скорость света,  $\otimes$  — операция свертки,  $\Psi^{-1}$  — оператор обратного преобразования Фурье,  $g(f, r)$  — излучательная характеристика канала DVI.

В любой точке пространства, в которой возможен перехват информации, существует аддитивная смесь прямых и инверсных сигналов ПЭМИ RGB-каналов:  $e_{Rj}(t, r, \mathbf{R})$ ,  $e_{Gj}(t, r, \mathbf{R})$  и  $e_{Bj}(t, r, \mathbf{R})$ :

$$e_{\Sigma}(s_b, r, R, t) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 e_{ij}(s_b, r, \mathbf{R}, t), \quad (5)$$

где  $\mathbf{R}$  — вектор местоположения технического средства перехвата ПЭМИ.

В стандарте DVI последовательность единиц соответствует „высокому“ уровню сигнала без интервалов между отдельными кодовыми символами, поэтому при постоянном уровне сигнала видеокарты, например при выводе последовательности нулей или единиц, излучения нет. Временная структура информационного сигнала ПЭМИ представляет собой последовательность дельта-образных радиоимпульсов, излученных в пространство в моменты времени, соответствующие скачкам напряжения [6].

Видеоимпульсы, соответствующие кодовым значениям яркостей RGB-каналов (прямого и инверсного типов), имеют близкую к трапецевидной форму (рис. 1, кривые 1 и 2 соответственно). Наличие колебаний амплитуды  $s_{ijb}$  и фронтов импульсов  $\xi_{ij}(t)$ , а также различие амплитудно-фазовых излучательных характеристик прямого и инверсного каналов приводят к формированию схожих, но отличающихся моментами образования импульсов ПЭМИ прямого и инверсного сигналов. Суммарное значение напряжения в каналах DVI в результате отличается от нулевого (рис. 1, кривая 3). Сложение радиоимпульсов прямого и инверсного каналов DVI со случайными временными задержками  $\xi_{ij}(t)$  и фазовыми сдвигами приводит к биениям суммарной амплитуды импульсов (рис. 1, кривая 4).

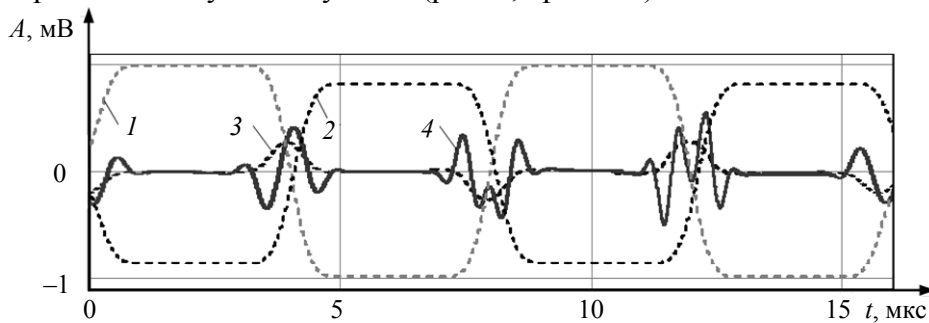


Рис. 1

Сигнал на входе приемника перехвата представляет собой аддитивную смесь сигналов ПЭМИ, помех  $z_b(s_b, r, \mathbf{R}, t)$ , формируемых системой активного зашумления, а также тепловых шумов самого приемного устройства и естественных фоновых шумов  $\eta_{\Phi}(t)$ :

$$u(\mathbf{R}, f, e_b, z_b, t) = e_{\Sigma}(s_b, t, r, \mathbf{R}) + z_b(s_b, t, r, \mathbf{R}) + \eta_{\Phi}(t). \quad (6)$$

При приеме сигнала  $u(\mathbf{R}, f, e_b, z_b, t)$  на основе связей (1)—(6) можно восстановить информацию элементарного блока изображения  $\lambda_b$ .

При оценивании результативности воздействия помех, формируемых САЗ, на техническое средство перехвата информации, необходимо определиться с моделью приемника перехвата ПЭМИ.

При формировании САЗ маскирующих помех оптимальный приемник перехвата ПЭМИ должен содержать коррелятор [7], описываемый выражением

$$u(\tau) = \int_0^{T_H} u(t) e_{\Sigma}(t - \tau, r, \mathbf{R}) dt, \quad (7)$$

где  $T_H = KT_K$  — длительность накопления данных элементарного информационного блока изображения  $\lambda_b$ .

При обнаружении полезного сигнала в приемнике отклик коррелятора сравнивается с некоторым пороговым значением, а при приеме одного детерминированного сигнала из множества известных вычисляется максимум взаимной корреляции. В задаче поблочной идентификации выводимой в системе информации модель оптимального приемника может быть представлена многоканальным коррелятором с решающим устройством, реализующим адаптивное правило принятия решений в зависимости от структуры и параметров помех, формируемых САЗ.

Рассмотрим ситуацию, когда изображение представлено элементарными блоками двух цветов. В этом случае в состав оптимального приемника перехвата ПЭМИ должны входить двухканальный коррелятор и решающее устройство. В техническом средстве перехвата может быть предусмотрено два решения: перехваченный сигнал соответствует блоку первого цвета или блоку второго.

В каждом канале коррелятора вычисляется значение функции взаимной корреляции  $R_{dl}$ , где  $d, l = 1, 2$ , аддитивной смеси сигнала ПЭМИ  $l$ -го ( $I_l$ ) цвета с помехой и опорного сигнала, формируемого излучением  $d$ -го цвета ( $I_d$ ). В условиях многократных статистических испытаний при изменении маскирующей шумовой помехи функции  $R_{dl}$  приобретают случайный характер. Результатом обработки выборок случайных величин  $R_{dl}$  при фиксированном количестве кадров  $K$  и отношении  $q$  амплитуды сигнала ПЭМИ к амплитуде шумовой помехи является возможность получения гистограмм распределений относительных частот значений функций взаимных корреляций смесей сигналов ПЭМИ с белым гауссовым шумом  $\nu(R_{dl})$  и опорным сигналом  $I_d$  (рис. 2). На основе гистограмм распределений получены эмпирические плотности вероятностей  $p(R_{dl})$ .

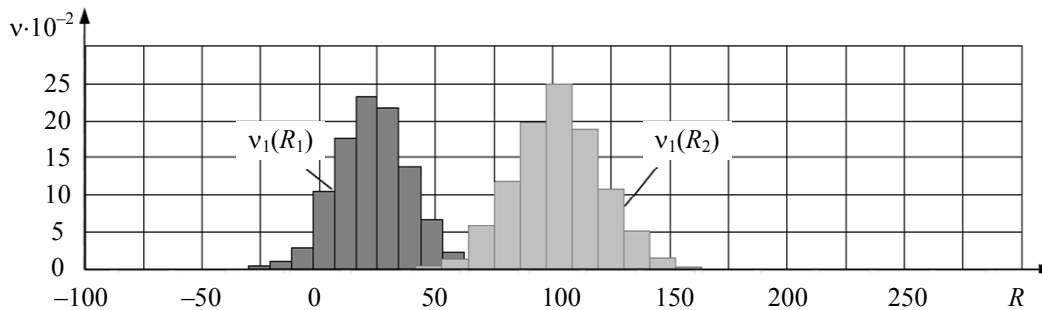


Рис. 2

На рис. 3 показано влияние на зависимость  $p(R_{1l})$  количества анализируемых кадров изображения при  $q = 0,2$  в первом канале коррелятора при обнаружении ПЭМИ, сформированного пикселями черного цвета (уровень яркости каналов RGB — 0) на белом фоне изо-

бражения (уровень яркости — 255):  $K=5$  — пунктирная кривая,  $K=10$  — сплошная кривая,  $K=20$  — штрихпунктирная кривая.

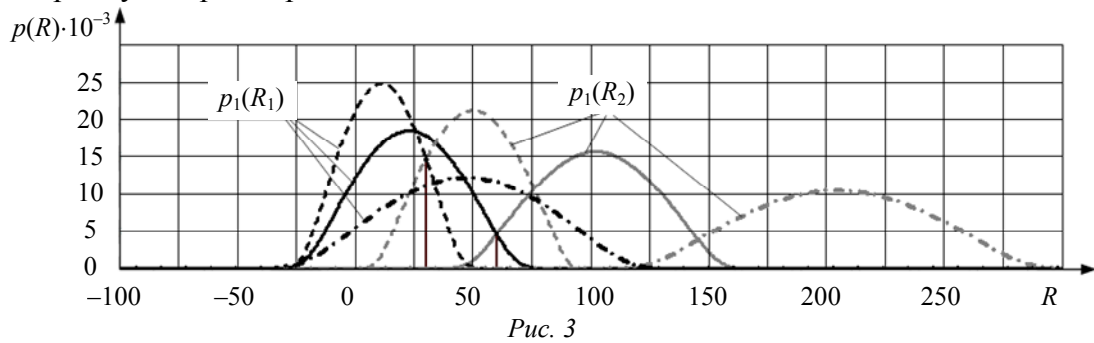


Рис. 3

Увеличение времени накопления сигналов приводит к росту как математического ожидания  $M_{R_{lI}}$  случайных величин  $R_{lI}$ , так и их среднеквадратических отклонений  $\sigma_{R_{lI}}$ . В свою очередь, изменение количества кадров изображения приводит к росту отношения  $M_{R_{lI}}/\sigma_{R_{lI}}$  (рис. 4). Анализ представленной на рис. 4 зависимости показал также, что уменьшение отношения  $q$  приводит к увеличению отношения  $M_{R_{lI}}/\sigma_{R_{lI}}$  при несовпадении принятого сигнала с опорным; на рисунке  $q=10$  соответствует сплошная линия,  $q=5$  — пунктирная,  $q=2,5$  — штрихпунктирная.

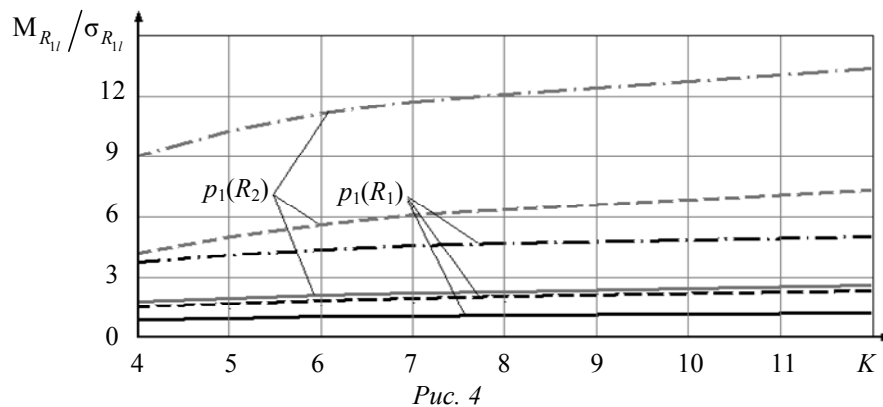


Рис. 4

Моделирование побочного электромагнитного излучения при передаче данных по стандарту DVI показало, что TMDS-код, с позиции оптимального обнаружения, является энергетическим параметром. Это связано с тем, что для разных кодовых последовательностей изменяется не только местоположение импульсов ПЭМИ на временной оси, но и их количество. Поэтому при обработке целесообразно использовать не взаимную корреляционную функцию, а коэффициент взаимной корреляции следующего вида [7]:

$$\rho_{dl} = \frac{R_{dl}}{\sigma_d \sigma_l}, \tag{8}$$

где  $\sigma_d, \sigma_l$  — среднеквадратические отклонения опорного сигнала  $I_d$ , суммарной смеси сигнала  $I_l$  и помехи, поступающей на вход  $d$  канала коррелятора.

Формирование окончательного решения в задаче перехвата ПЭМИ (т.е. при распознавании цвета перехваченного изображения) основано на использовании оптимальной схемы различения детерминированных неортогональных сигналов с вычитанием откликов двух каналов коррелятора [7]. Применение указанной схемы позволяет выполнить переход к одномерным случайным величинам путем вычисления разности

$$\delta\rho_l = \rho_{1l} - \rho_{2l}.$$

Учитывая, что в общем случае случайные величины  $\rho_{1l}$  и  $\rho_{2l}$  (т.е. отклики разных каналов коррелятора на сигнал  $I_d$ ) являются независимыми, плотность распределения одномерной случайной величины  $p(\delta\rho_l)$ , характеризующей сигнал  $I_l$  (рис. 5), будет определяться по формуле [10]

$$p(\delta\rho_l) = \int_{-\infty}^{\infty} p_1(\rho_{2l} - \delta\rho_l) p_2(\rho_{2l}) d(\rho_{2l}).$$

Данные, полученные при статистической обработке случайных величин  $\delta\rho_l$ , позволяют оценить результативность воздействия помех, формируемых системой активного зашумления, на оптимальный приемник перехвата ПЭМИ. Для этого необходимо задать критерий принятия решения о цвете перехваченного излучения.

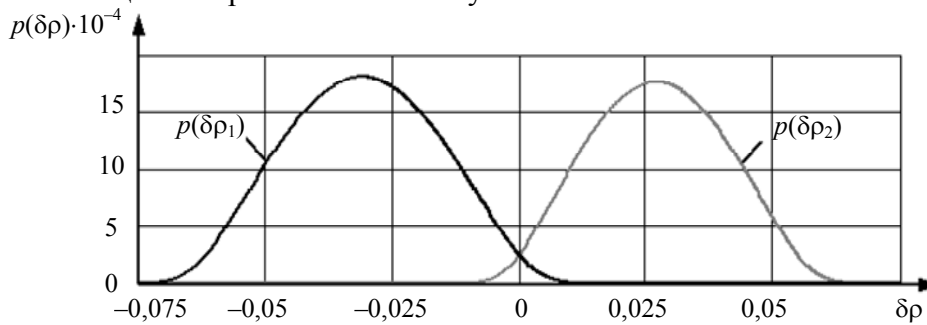


Рис. 5

Таким образом, в результате представленного исследования на основе имитационного моделирования процесса формирования побочного электромагнитного излучения получены зависимости распределений эмпирических плотностей вероятностей значений функции взаимной корреляции аддитивной смеси сигналов ПЭМИ и шумовой помехи с опорным сигналом излучения заданного цвета. Показаны зависимости изменения эмпирических плотностей вероятностей от количества кадров изображения при использовании оптимального приемника перехвата ПЭМИ, выполненного в виде двухканального коррелятора.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорев А. А. Техническая защита информации. Т.1. Технические каналы утечки информации. М.: НПЦ „Аналитика“, 2008. 436 с.
2. Париуткин А. В., Солодяников А. В. Методика оценки качества защиты информации на основе использования обобщенных информационных показателей качества // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2000. № 2. С. 7—13.
3. Париуткин А. В. Концептуальная модель взаимодействия конфликтующих информационных и телекоммуникационных систем // Вопр. кибербезопасности. 2014. № 5 (8). С. 2—6.
4. Максимов Ю. Н., Сонников В. Г., Петров В. Г. и др. Технические методы и средства защиты информации / Под ред. В. Г. Сонникова. СПб: Полигон, 2000. 320 с.
5. Париуткин А. В., Егин А. В., Святкин С. А. Применение структурных и шумовых помех для защиты информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений // Вопр. оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 3—4 (93—94). С. 27—34.
6. Париуткин А. В., Вознюк В. В., Гусаров А. А. и др. Аппаратурный анализ сигналов / Под ред. А. В. Париуткина. СПб: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2015. 212 с.
7. Тихонов В. И., Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 2004. 608 с.

8. *Паришуткин А. В., Святкин С. А., Бажин Д. А., Сазыкин А. М.* Радиоэлектронные информационные воздействия в конфликтах информационных и телекоммуникационных систем // *Вопр. оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму.* 2015. № 5—6. С. 13—17.
9. *Крымский В. В., Бухарин В. А., Залятин В. И.* Теория несинусоидальных электромагнитных волн. Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1995. 108 с.
10. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М.: Наука, 1974. 832 с.

**Сведения об авторах**

- Андрей Викторович Паришуткин** — д-р техн. наук, профессор; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения; E-mail: andydc2010@mail.ru
- Александр Валентинович Егин** — соискатель; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения
- Валерий Васильевич Вознюк** — канд. техн. наук, доцент; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения
- Дмитрий Викторович Левин** — канд. техн. наук; ВКА им. А. Ф. Можайского, кафедра систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения; E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru

Рекомендована кафедрой систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения

Поступила в редакцию 14.06.16 г.

**Ссылка для цитирования:** *Паришуткин А. В., Егин А. В., Вознюк В. В., Левин Д. В.* Применение системы активного шумления побочных электромагнитных излучений при передаче данных по стандарту DVI // *Изв. вузов. Приборостроение.* 2017. Т. 60, № 1. С. 25—31.

#### APPLICATION OF ACTIVE NOISE SYSTEM TO SIDE ELECTROMAGNETIC RADIATION WHEN TRANSMITTING DATA IN DVI STANDARD

**A. V. Parshutkin, A. V. Egin, V. V. Voznuk, D. V. Levin**

*A. F. Mozhaisky Military Space Academy, 197198, St. Petersburg, Russia  
E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru*

Processes of suppression of technical means for interception of side electromagnetic radiation by DVI standard interface are considered. A mathematical model is proposed for the side electromagnetic radiation arising from operation of raster information display systems. An imitation model for evaluating the active noise system impact on technical mean of interception of side electromagnetic radiation is presented.

**Keywords:** side electromagnetic radiation, raster information display systems

**Data on authors**

- Andrey V. Parshutkin** — Dr. Sci., Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Electronic Warfare Systems and Means for Space Purpose; E-mail: andydc2010@mail.ru
- Aleksander V. Egin** — Applicant; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Electronic Warfare Systems and Means for Space Purpose
- Valery V. Voznuk** — PhD, Associate Professor; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Electronic Warfare Systems and Means for Space Purpose
- Dmitry V. Levin** — PhD; A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Department of Electronic Warfare Systems and Means for Space Purpose; E-mail: dm.sovetnik@yandex.ru

**For citation:** *Parshutkin A. V., Egin A. V., Voznuk V. V., Levin D. V.* Application of active noise system to side electromagnetic radiation when transmitting data in DVI standard // *Izv. vuzov. Priborostroenie.* 2017. Vol. 60, N 1. P. 25—31 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-1-25-31