

А.В. ПАРШУТКИН, Д.В. ЛЕВИН, С.А. ЗАЙЦЕВ, А.В. ЕГИН
**ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОМЕХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО КАНАЛУ ПОБОЧНЫХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

Паршуткин А.В., Левин Д.В., Зайцев С.А., Егин А.В. **Применение структурных помех для защиты информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений.**

Аннотация. Работа посвящена рациональному выбору параметров формирования шумовых маскирующих и структурных помех в целях их совместного применения для защиты конфиденциальной информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений средств отображения информации, использующих стандарт Digital Visual Interface (DVI).

В работе отражены особенности имитационного моделирования воздействия шумовых и структурных помех системы активного зашумления на квазиоптимальный приемник технического средства перехвата информации. Представлен порядок образования импульсных компонент побочных электромагнитных излучений, возникающих при передаче видеоданных по стандарту DVI, а также отдельных составляющих структурных помех. Отмечено, что именно в режиме вывода информации на экран монитора возникают наиболее широкополосные и многократно повторяющиеся побочные электромагнитные излучения, совпадающие с частотой кадровой развертки устройств видеотракта.

Задан показатель оценивания результативности применения структурных помех при решении задачи защиты информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений — вероятность ошибочного распознавания цвета блока графической информации. Приведены зависимости изменения показателя результативности от количества кадров изображения, накапливаемых в техническом средстве перехвата побочных электромагнитных излучений, и показана его связь с отношением сигнал/шум по амплитуде на входе технического средства перехвата.

По результатам имитационного моделирования проведено оценивание результативности применения структурных помех в системах активного зашумления. Выявлена целесообразность использования структурных помех при защите конфиденциальной информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений средств отображения информации со стандартом DVI. Показана возможность снижения суммарной мощности излучения средства активного зашумления по сравнению с традиционно используемыми шумовыми маскирующими помехами.

Ключевые слова: структурные помехи, побочные электромагнитные излучения, система активного зашумления, техническая защита информации, технические каналы утечки информации, стандарт DVI.

1. Введение. При обработке информации на персональных электронно-вычислительных машинах (ПЭВМ) возникают технические каналы утечки данных, среди которых стоит отметить побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) средств отображения информации, а также наводки информативных сигналов в линиях электропитания, цепях заземления и соединительных линиях вспомогательных технических средств и систем. При выводе информации на экран монитора возникают наиболее широкополосные и

многократно повторяющиеся с частотой кадровой развертки ПЭМИ устройств видеотракта. С точки зрения обеспечения требуемого уровня технической защиты конфиденциальной информации именно при этом режиме функционирования ПЭВМ является наиболее уязвимой [1-3].

В современных ПЭВМ высокоскоростная передача объемных видеоизображений на цифровые средства отображения, такие как жидкокристаллические мониторы и проекторы, в основном осуществляется по стандарту Digital Visual Interface (DVI) [4, 5]. При обработке в ПЭВМ конфиденциальной информации необходимо проводить мероприятия технической защиты информации, направленные на снижение качества функционирования технических средств перехвата ПЭМИ, обусловленных особенностями работы стандарта DVI средств отображения информации [6, 7].

Для защиты информации от утечки по каналу ПЭМИ применяются мощные генераторы шума. При наложении ограничений по мощности допустимого излучения активных помех в современных системах активного зашумления используется совместное применение маскирующих (шумовых) и имитирующих (структурных) помех [8, 9]. Поэтому исследования процессов воздействия активных структурных помех на технические средства перехвата широкополосных ПЭМИ средств отображения, использующих стандарт DVI, являются актуальными.

Исследование воздействия различных помех на технические средства перехвата ПЭМИ современных средств отображения информации, использующих цифровые технологии передачи данных, невозможно без детального ознакомления с особенностями формирования информативных сигналов ПЭМИ. Теоретический анализ и математическое описание дуэльной ситуации взаимодействия средства перехвата ПЭМИ и системы активного зашумления представлены в работах [7-9].

Для защиты информации от утечки по каналу ПЭМИ широко используются средства активного зашумления с широкополосными шумовыми помехами. Однако при наличии близко размещенных радиоприемных систем эфирного телевидения, средств дальней и спутниковой связи, средств высокоскоростной беспроводной передачи данных возникают проблемы электромагнитной совместимости.

Развитию способов защиты информации от утечки по каналам ПЭМИ посвящены научные труды Маркуса Г. Куна [10], А.А. Хорева [1, 11, 12], В.Б. Авдеева [13-16], А.Б. Таранова [4] и других авторов. Однако вопросы совместного применения шумовых маскирующих и структурных помех в условиях ограничений на суммарную мощность излучения активных помех для обеспечения

электромагнитной совместимости со средствами беспроводной передачи данных ранее не рассматривались.

Цель настоящей статьи заключается в рациональном выборе на основе результатов имитационного моделирования параметров совместного применения активных структурных и шумовых помех при технической защите конфиденциальной информации от утечки по каналу ПЭМИ средств отображения, использующих стандарт DVI, при заданном допустимом уровне суммарной мощности помех.

2. Моделирование воздействия шумовых маскирующих и структурных помех на технические средства перехвата побочных электромагнитных излучений средств отображения информации. На основе комплексной математической модели системы активного зашумления, представленной в работах [7-9], проведено моделирование воздействия шумовых и структурных помех на квазиоптимальный приемник технического средства перехвата ПЭМИ средств отображения, использующих стандарт DVI. Структура имитационной модели воздействия помех на средство перехвата сигналов ПЭМИ приведена в работе [8].

Моделирование системы активного зашумления заключалось в формировании шумовых маскирующих и структурных помех. Шумовые маскирующие помехи представлялись массивами независимых отсчетов нормального распределения с нулевым математическим ожиданием. При этом уровень каждого независимого отсчета соответствовал величине отношения сигнал/шум по амплитуде $q_{с/ш}$. Текущее значение $q_{с/ш}$ определялось через отношение сигнал/шум по амплитуде $q_{с/ш} = A_{пэми} / \sigma_{шп}$, где $A_{пэми}$ — средняя амплитуда сигнала ПЭМИ на входе приемного устройства средства перехвата; $\sigma_{шп}$ — среднеквадратическая ошибка (СКО) амплитуды шумовой маскирующей помехи [7]. При накоплении сигнала ПЭМИ, формируемого в результате выведения на экран монитора одного пиксела или кадра изображения, на входе приемного устройства средства перехвата будет сформирована совокупность независимых отсчетов шумовой помехи, имеющих нормальный закон распределения [9].

Моделирование воздействия структурных помех на приемное устройство средства перехвата ПЭМИ заключалось в формировании повторяющейся пачки импульсов, обладающей высокой степенью сходства по структуре с сигналом ПЭМИ, возникающего в результате выведения одного кадра изображения на экран монитора. При формировании каждого отдельного импульса структурной помехи фиксировались его амплитуда $g_{сп}$ и вероятность появления $P_{сп}$. При этом амплитуда и длительность $\tau_{и}$ отдельного импульса структурной помехи на

15-20 % превышала среднюю амплитуду сигнала ПЭМИ и длительность видеопульса стандарта DVI соответственно. Сформированная пачка импульсов структурной помехи на всем интервале ее излучения оставалась неизменной, а вероятность появления отдельного импульса задавалась нормальным законом распределения (рисунок 1).

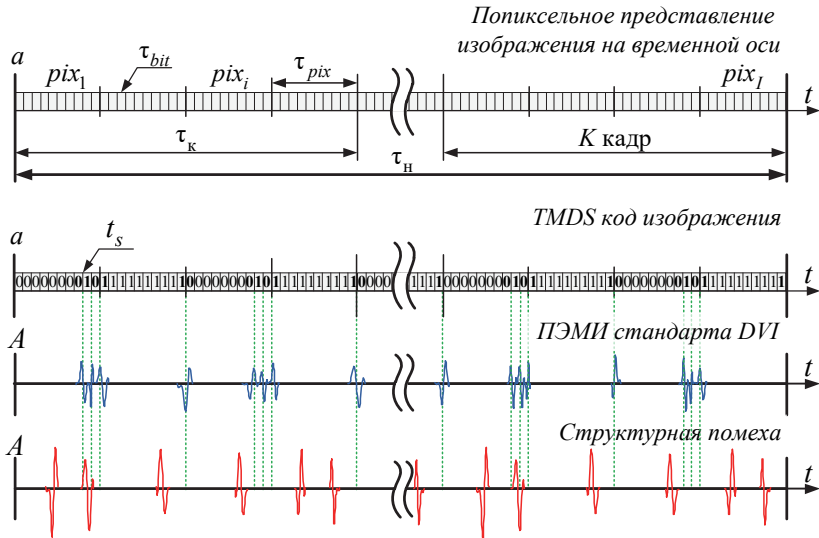


Рис. 1. Принцип формирования импульсов ПЭМИ и импульсных компонент структурной помехи

На рисунке 1 введены следующие обозначения: pix_i — i -й пиксель изображения, $i \in (1, I)$; τ_{pix} — длительность одного пикселя; τ_{bit} — длительность бита информации; τ_k — длительность одного кадра изображения; τ_n — длительность накопления сигнала ПЭМИ средством перехвата; t_c — момент изменения битового символа; a — символы TMDS кода; A — амплитуда радиосигнала; t — время.

Период повторения пачки импульсов структурной помехи жестко связывался с частотой кадровой развертки средства отображения информации. Поэтому для синхронизации следования импульсов структурных помех и импульсов ПЭМИ обеспечивалось их согласование по тактовой частоте следования битов информации $f_{\text{ТАКТ}}$ в DVI стандарте [8].

В итоге на входе средства перехвата сигнала ПЭМИ создавалась пачка импульсов, превышающих по амплитуде импульсы битовой

последовательности полезных сигналов (т.е. сигналов каналов цветности при передаче данных по стандарту DVI) [8]. И поскольку пачка импульсов структурной помехи оставалась неизменной при накоплении сигнала ПЭМИ, формируемого в результате выведения на экран монитора множества кадров изображения, структурная помеха накапливалась также эффективно, как и информативный сигнал.

При моделировании приемника технического средства перехвата ПЭМИ предполагалось, что на его входе будет сформирована аддитивная смесь сигнала ПЭМИ, возникающего в результате передачи неизвестного фрагмента двухцветного изображения на средства отображения информации по стандарту DVI, с шумовыми маскирующими и структурными помехами системы активного зашумления (рисунок 2).

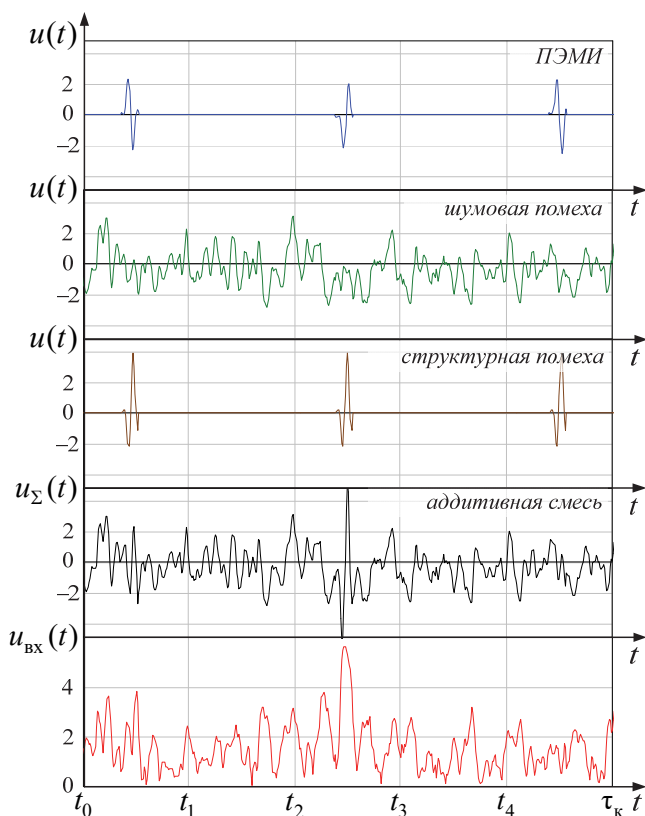


Рис. 2. Временное представление сигнала ПЭМИ, шумовой помехи, структурной помехи и аддитивной смеси сигнала ПЭМИ и помех

Приемным устройством средства перехвата ПЭМИ неизвестного двухцветного изображения в условиях воздействия шума и структурных помех являлся двухканальный некогерентный коррелятор с адаптивным к характеристикам сигнала и помех решающим устройством. В его каждом канале приема осуществлялась корреляционная обработка информативного сигнала и активных помех. При этом в качестве опорного сигнала использовался сигнал ПЭМИ, формируемого при выведении на экран монитора фрагмента изображения заданного цвета. Решающее устройство реализовывало адаптивное принятие решений в зависимости от мощности активных помех на входе приемного устройства средства перехвата ПЭМИ [17, 18].

Выделение огибающей аддитивной смеси информативного сигнала и активных помех осуществлялось на основе использования преобразования Гильберта [19]. Так, для определения текущей амплитуды сигнала (аддитивной смеси сигнала ПЭМИ с шумовой и структурной помехами) использовалось следующее выражение:

$$u_{\kappa}(t) = \sqrt{u_{\Sigma}^2(t) + \delta u_{\Sigma}^2(t)}, \quad (1)$$

где $u_{\Sigma}(t)$ — аддитивная смесь сигнала ПЭМИ со структурной и шумовой помехами; $\delta u_{\Sigma}(t)$ — сигнал, сопряженный по Гильберту с сигналом $u_{\Sigma}(t)$.

После корреляционной обработки в имитационной модели формируется массив значений взаимной корреляционной функции R аддитивной смеси информативного сигнала и помех с опорным сигналом каждого приемного канала (т.е. с опорным сигналом ПЭМИ, выводимого на экран монитора фрагмента изображения заданного цвета). В каждом канале приемника перехвата ПЭМИ отклик коррелятора сравнивался с пороговым значением. Для выбора опорного сигнала ПЭМИ в каждом канале приема, использовалась пачка импульсов, соответствующих переходам из «0» в «1» и обратно TMDS кода прямоугольного блока графической информации, заданного цвета. Такой подход позволил получить дополнительный энергетический выигрыш от накопления сигнала в корреляторе при снижении разрешения восстанавливаемого изображения [4, 7, 10].

При поблочной идентификации отображаемого двухцветного изображения в решающем устройстве по максимуму значения корреляционного пика определялся цвет области изображения, выводимой на экран монитора. Сигналы ПЭМИ фрагмента изображения черного и белого цветов размером в один пиксел, а также опорные сигналы приемного устройства, настроенного на перехват

ПЭМИ, формируемого в результате выведения черного и белого пиксела на экран монитора, представлены на рисунке 3.

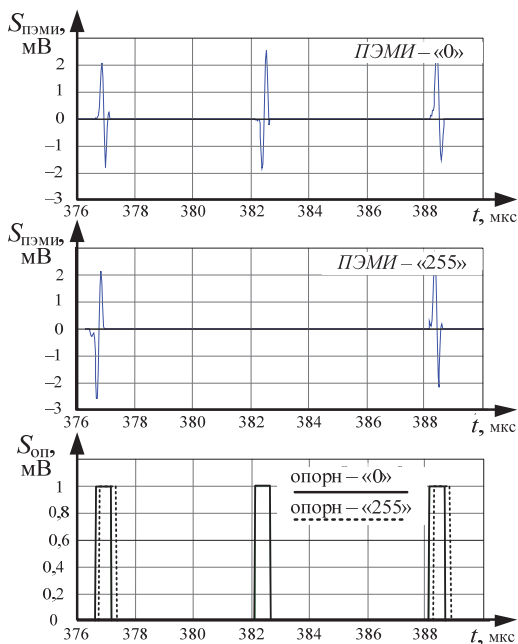


Рис. 3. Импульсы сигналов ПЭМИ черного «0» и белого цветов «255» и импульсы опорных сигналов в двух каналах коррелятора приемника технического средства перехвата ПЭМИ

При двухканальной корреляционной обработке в техническом средстве перехвата ПЭМИ выведение на экран монитора изображения, состоящего из двух цветов, приводило к формированию на выходе каждого канала коррелятора двух взаимных корреляционных функций. Поэтому при анализе работы приемника в целом требовалось исследовать параметры четырех таких функций.

В условиях отсутствия помех взаимные корреляционные функции сигналов ПЭМИ, формируемых при выведении на экран монитора прямоугольных фрагментов изображения из 16 пикселей одного цвета (черного или белого) с опорными сигналами заданных цветов в каждом канале коррелятора, приведены на рисунке 4.

Для оценивания результативности применения структурных помех при решении задачи защиты информации от утечки по каналу ПЭМИ выбран показатель $P_{\text{ош}}$ — вероятность ошибочного

распознавания цвета блока графической информации. Оценивание $P_{\text{ош}}$ проводилось путем обработки результатов многократных статистических испытаний с последующим анализом эмпирических плотностей распределения корреляционных пиков $R(\tau)$ взаимных корреляционных функций аддитивных смесей сигналов ПЭМИ и активных помех с опорными сигналами ПЭМИ, формируемых в результате выведения на экран монитора фрагментов изображений заданных цветов [9].

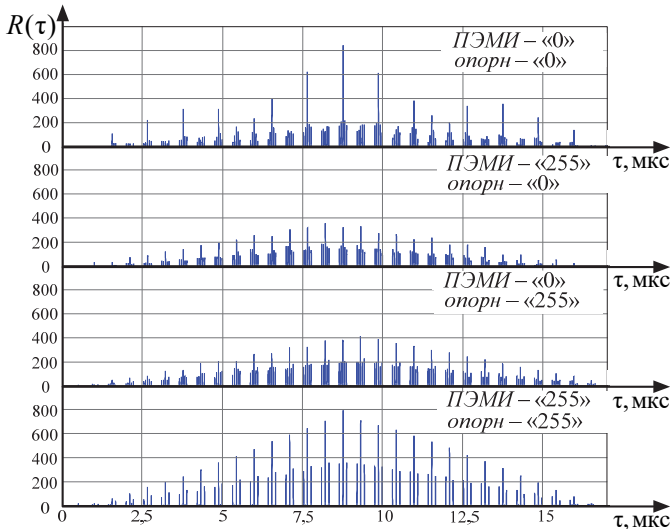


Рис. 4. Взаимные корреляционные функции смесей сигналов ПЭМИ с опорными сигналами черного и белого цветов

Величины корреляционных пиков $R(\tau)$ в каждом канале коррелятора являются случайными, поскольку при проведении многократных статистических испытаний изменяются независимые отсчеты шумовых маскирующих помех и отдельные импульсные компоненты структурных помех. Фиксированными величинами в статистических испытаниях задаются такие параметры, как количество кадров изображения N_k , в результате выведения которых формируется сигнал ПЭМИ, и отношение сигнал/шум по амплитуде $q_{\text{с/ш}}$.

3. Статистическая обработка результатов имитационного моделирования. Накопление и обработка результатов имитационного моделирования позволили при проведении многократных

статистических испытаний получить эмпирические плотности распределений $R(\tau)$ корреляционных пиков взаимных корреляционных функций аддитивных смесей сигналов ПЭМИ, шумовых и структурных помех с опорными сигналами ПЭМИ фрагментов изображений заданного цвета. Результатом одного статистического испытания при имитационном моделировании являлось формирование на выходе каждого из двух каналов приема значения R .

При моделировании полагалось, что элементарный блок графической информации является фрагментом черно-белого изображения. Поэтому в каждом канале приемника технического средства перехвата ПЭМИ будет приниматься решение о приеме сигнала черного (первого) или белого (второго) цветов.

При проведении многократных статистических испытаний в каждом канале приемника технического средства перехвата ПЭМИ формировались два множества значений случайной величины R . Каждое из указанных множеств разделялось на два подмножества, соответствующих цвету принимаемого средством перехвата ПЭМИ в отдельном канале приемного устройства. Элементы сформированных в разных каналах приемника множеств значений R проходили процедуру центрирования относительно математического ожидания полученного множества.

Моделирование показало, что код яркости, подлежащий обнаружению при перехвате ПЭМИ, с точки зрения оптимального обнаружения является энергетическим параметром. Это связано с тем, что для разных кодовых последовательностей меняется не только местоположение импульсов ПЭМИ на временной оси, но и их количество [7, 17, 20, 21]. Поэтому при обработке целесообразно использовать нормировку к мощности обрабатываемого и опорного сигналов [22]. Фактически необходимо использовать не взаимную корреляционную функцию, а коэффициент взаимной корреляции следующего вида:

$$r_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sigma_i \cdot \sigma_j}, \quad (2)$$

где R_{ij} — значение корреляционного пика взаимной корреляционной функции аддитивной смеси сигнала ПЭМИ и помех в i канале коррелятора с опорным сигналом j цвета; σ_i, σ_j — СКО опорного сигнала коррелятора j цвета и аддитивной смеси сигнала ПЭМИ и активных помех, поступающих на вход i канала коррелятора.

Распознавание цвета блока графической информации, выводимой на средство отображения информации, по перехваченному сигналу ПЭМИ основано на использовании оптимальной схемы различения детерминированных неортогональных сигналов с вычитанием откликов двух корреляторов [18, 20]. Применение указанной схемы распознавания сигналов позволяет выполнить переход в пространство одномерной случайной величины δr_j путем вычисления разности следующего вида [22]:

$$\delta r_j = r_{1j} - r_{2j}. \quad (3)$$

Отклики корреляторов r_{1j} и r_{2j} на сигнал одного цвета j являются независимыми, поэтому плотность распределения одномерной случайной величины $p_j(\delta r)$, представленной выражением (3), определяется по следующей формуле [17]:

$$p_j(\delta r) = \int_{-\infty}^{\infty} p_1(r_{2j} - \delta r_j) \cdot p_2(r_{2j}) dr_{2j}. \quad (4)$$

Входными данными блока статистической обработки результатов имитационного моделирования являлись две выборки случайной величины δr , характеризующие цвет блока графической информации.

Массивы сформированных одномерных случайных величин δr_j двухцветной модели перехваченного сообщения обрабатывались следующим образом. Для определения диапазона изменений случайной величины δr в массиве полученных значений определялись минимальное и максимальное значения. По количеству статистических испытаний $N_{\delta r}$, проводимых при имитационном моделировании, по формуле Стерджесса $k = 3,22 \cdot \lg N_{\delta r}$ определялось количество разбиений диапазона изменения случайной величины δr [23].

Диапазон изменения случайной величины δr разделялся на k равных промежутков, в пределах которых подсчитывалось количество реализаций случайной величины δr [23]. Для определения эмпирических частот случайной величины $\nu(\delta r)$ количество попаданий в заданные интервалы нормировалось относительно общего числа проводимых статистических испытаний. На основе вычисленных эмпирических частот случайной величины строились гистограммы распределений.

Гистограммы представляли собой ступенчатые функции изменения эмпирической частоты выпадения значений $v(\delta r)$ от среднего значения интервала разбиения возможных значений δr (рисунок 5).

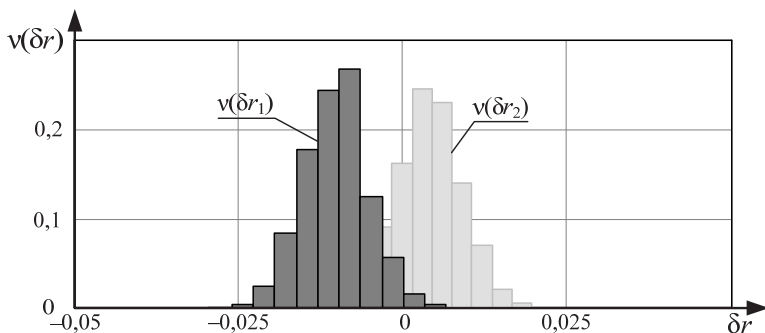


Рис. 5. Гистограммы распределений относительных частот корреляционных пиков сигналов ПЭМИ с белым гауссовским шумом $v(\delta r_{1j})$ и опорным сигналом первого цвета

Для множества значений срединных точек и эмпирических частот выпадения значений $v(\delta r)$ проводилось сглаживание результатов на заданном интервале возможных значений δr . Для получения эмпирической плотности распределения случайной величины $p(\delta r)$ проводилось их нормирование относительно площади подынтегральной функции [23]. Результатом статической обработки являлись эмпирические плотности распределений случайной величины, характеризующей по принятому средству перехвата сигналу ПЭМИ цвет блока графической информации выводимой на экран монитора.

При статистической обработке результатов имитационного моделирования выполнялся переход многомерной случайной величины, характеризующей цвет блока графической информации по перехваченному сигналу ПЭМИ, в область одномерных случайных величин, а затем на основе заданного критерия распознавания цвета принималось решение о цвете фрагмента неизвестного изображения.

4. Обоснование выбора параметров структурных помех системы активного зашумления. Для рационального подбора состава параметров формирования структурных помех разработана имитационная модель, представленная в работе [8]. При имитационном моделировании предполагалось, что для снижения качества функционирования технического средства перехвата ПЭМИ используется система активного зашумления (САЗ), формирующая

шумовые маскирующие и структурные помехи. Для определения области применения только шумовых маскирующих помех проведено оценивание влияния отношения средней амплитуды сигнала ПЭМИ к среднеквадратической ошибке (СКО) шумовых маскирующих помех $q_{c/ш}$ на показатель $P_{ош}$ — вероятность ошибочного распознавания цвета блока графической информации (рисунок 6).

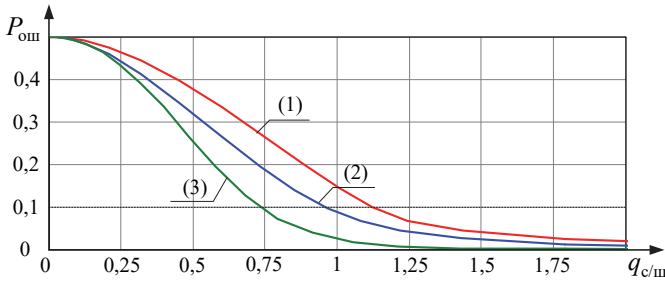


Рис. 6. Влияние шумовых маскирующих помех на вероятность ошибочного восстановления блока графической информации (1 – 5 кадров; 2 – 10 кадров; 3 – для 30 кадров)

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 6, показал, что фиксированный уровень вероятности $P_{ош}$ достигается путем уменьшения отношения $q_{c/ш}$ при увеличении длительности накопления полезного сигнала в приемном устройстве технического средства перехвата ПЭМИ. Рациональной областью применения шумовых маскирующих помех при обеспечении вероятности $P_{ош}$ не ниже 0,4 является интервал, в котором $q_{c/ш} \leq 0,3$.

Для определения области рационального применения только структурных помех введено ограничение на использование шумовых маскирующих помех по показателю $P_{ош}$ на уровне 0,1. Поэтому при исследовании результативности применения структурных помех для каждого варианта накопления сигнала в техническом средстве перехвата ПЭМИ (т.е. при выводе на экран монитора 5, 10 и 30 кадров изображения) использовалось индивидуальное фиксированное значение отношения $q_{c/ш}$. Для 5 кадров изображения $q_{c/ш} = 0,99$, для 10 кадров — 0,90, а для 30 кадров — 0,75.

Основными параметрами формирования структурных помех являются:

- вероятность появления импульсов структурной помехи $P_{сп}$;
- коэффициент амплитуды структурной помехи $g_{сп}$.

Наиболее рациональными вариантами формирования структурных помех с точки зрения увеличения $P_{\text{ош}}$ являются те, в которых вероятность появления импульсов структурной помехи $P_{\text{сп}}$ сосредоточена в интервале от 0,4 до 0,8 (рисунок 7).

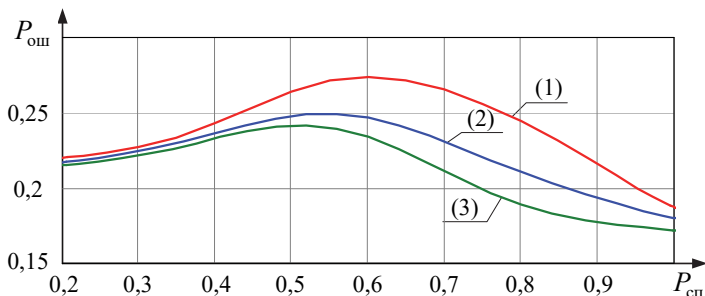


Рис. 7. Рациональный выбор вероятности появления компонент структурной помехи при контрольных отношениях $q_{\text{с/ш}}$ (1 — для 5 кадров; 2 — для 10 кадров; 3 — для 30 кадров)

Для каждого выбранного варианта накопления сигнала ПЭМИ средством перехвата увеличение $P_{\text{сп}}$ до значений близких к единице приводит к вероятностям $P_{\text{ош}}$ не выше 0,2.

На основе результатов имитационного моделирования при исследовании результативности применения САЗ, формирующей шумовые маскирующие и структурные помехи, было принято: при накоплении 5 кадров изображения $P_{\text{сп}} = 0,6$, при накоплении 10 кадров изображения — 0,56, а при 30 кадрах — 0,53. При выбранных интенсивностях появления компонент структурной помехи были получены зависимости изменения $P_{\text{ош}}$ от $g_{\text{сп}}$ (рисунок 8).

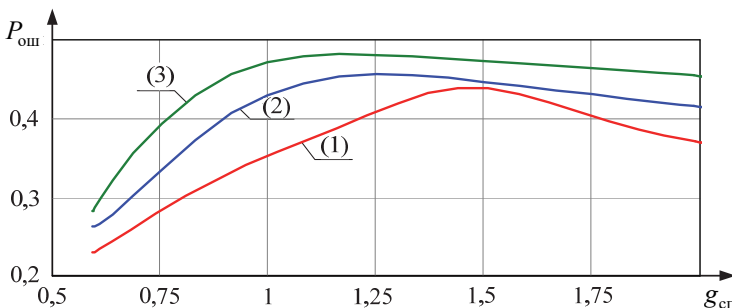


Рис. 8. Рациональный выбор коэффициента амплитуды структурной помехи (1 — для 5 кадров; 2 — для 10 кадров; 3 — для 30 кадров)

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 8 показал, что при накоплении сигнала ПЭМИ при выводе на экран монитора 5 кадров изображения изменение коэффициента амплитуды структурной помехи $g_{\text{сп}}$ на интервале от 0,50 до 1,44 приводит к увеличению $P_{\text{ош}}$. С увеличением $g_{\text{сп}}$ до 2 происходит незначительное снижение $P_{\text{ош}}$ от 0,37 до 0,30. Для 10 кадров изображения точкой экстремума является $g_{\text{сп}} = 1,25$. При значениях $g_{\text{сп}}$, превышающих 1,50, наблюдается снижение $P_{\text{ош}}$ до 0,42. Для 30 кадров изображения $g_{\text{сп}} = 1,20$. Здесь важно отметить, что многократное превышение амплитуды структурной помехи над средней амплитудой сигнала ПЭМИ (т.е. в два раза, три раза и т.д.) может быть режектирована в приемном устройстве технического средства перехвата ПЭМИ [24, 25].

Каждому варианту накопления сигнала ПЭМИ подобрана пара основных параметров формирования структурных помех:

- для 5 кадров – $P_{\text{сп}} = 0,60$ при $g_{\text{сп}} = 1,44$;
- для 10 кадров – $P_{\text{сп}} = 0,56$ при $g_{\text{сп}} = 1,25$;
- для 30 кадров – $P_{\text{сп}} = 0,53$ при $g_{\text{сп}} = 1,20$.

Для указанных вариантов формирования структурных помех проведено оценивание результативности применения САЗ по показателю $P_{\text{ош}}$ (рисунок 9).

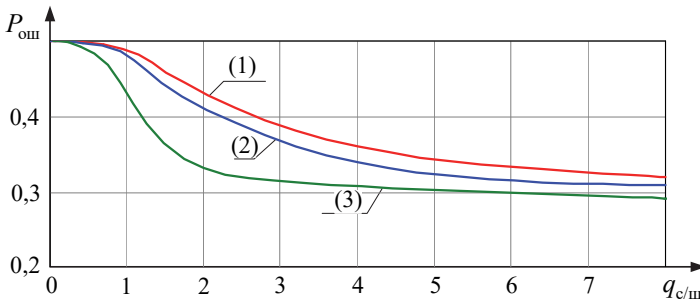


Рис. 9. Результативность применения структурных помех с рационально выбранными параметрами их формирования (1 – 5 кадров; 2 – 10 кадров; 3 – для 30 кадров)

Из рисунка 9 видно, что при рациональном подборе $P_{\text{сп}}$ и $g_{\text{сп}}$ для обеспечения требуемой вероятности ошибочного восстановления блока графической информации (например, по уровню $P_{\text{ош}} = 0,30$) необходимо обеспечить отношение $q_{\text{с/ш}}$ не более 6. При увеличении

длительности накопления полезного сигнала средством перехвата ПЭМИ вероятность появления импульсов структурной помехи стремится к 0,50, а коэффициент увеличения амплитуды структурной помехи к 1. Поэтому наиболее рациональным вариантом подбора параметров формирования структурных помех при накоплении сигнала ПЭМИ средств отображения информации, использующих стандарт DVI, средством перехвата является $P_{\text{сп}} = 0,50$ и $g_{\text{сп}} = 1$.

5. Оценивание результативности применения систем активного зашумления со структурными помехами при защите информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений средств отображения информации со стандартом DVI. В целях предотвращения утечки конфиденциальной информации по каналу ПЭМИ система активного зашумления должна сформировать на границе контролируемой зоны структурные помехи, равные по уровню информативному сигналу, и шумовые помехи, превышающие этот уровень в два раза [25]. Коэффициент энергетического выигрыша от применения структурных помех представлен на рисунке 10.

Исследования, проводимые авторами настоящей статьи, показали, что для обеспечения вероятности распознавания одного символа, отображаемого на экране монитора, не более 0,30, необходимо обеспечить вероятность правильного определения цвета блока изображения не меньше 0,68. Поэтому для обеспечения затруднения или полного исключения перехвата информации по каналу ПЭМИ при оценивании результативности применения САЗ выбирались такие варианты совместного применения структурных и шумовых помех, при которых обеспечивается вероятность ошибочного распознавания цвета блока изображения не менее 0,32.

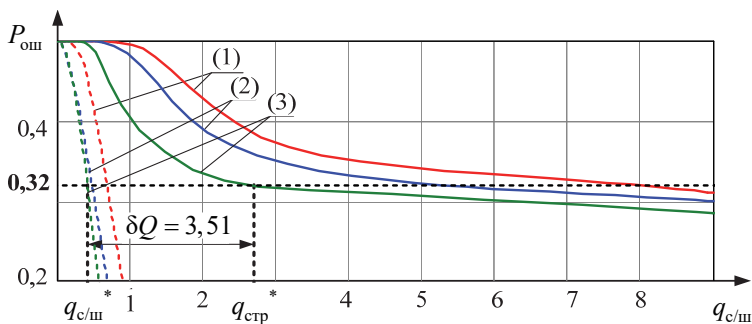


Рис. 10. Доля выигрыша δQ от применения структурных помех (1 – 5 кадров; 2 – 10 кадров; 3 – для 30 кадров)

При выборе параметров формирования структурных помех используется коэффициент амплитуды структурной помехи, поэтому для оценивания выигрыша применения совокупности структурных и шумовых помех необходимо выполнить пересчет выигрыша по $q_{c/п}$.

Отношение $q_{c/п}$ мощности сигнала ПЭМИ по амплитуде к суммарной мощности шумовых и структурных помех можно представить через $q_{c/ш}$ в следующем виде:

$$q_{c/п} = \frac{u_c}{u_{ш} + u_c g_{сп}} = \frac{1}{1/q_{c/ш} + g_{сп} q_{c/ш} / q_{c/ш}} = \frac{q_{c/ш}}{1 + g_{сп} q_{c/ш}}. \quad (5)$$

Для оценивания относительного выигрыша от применения структурных помех по сравнению с шумовыми помехами применяется следующий показатель:

$$\delta q = q_{c/п} / q_{c/ш}. \quad (6)$$

Учитывая, что δq параметр, формируемый по амплитуде, то для оценивания относительного выигрыша по мощности необходимо выполнить следующее преобразование $\delta Q = \delta q^2$. Относительный выигрыш (по мощности излучения) применения структурных помех δQ от числа кадров N_k при решении задачи защиты информации от утечки по каналу ПЭМИ представлен в таблице 1.

Таблица 1. Относительный выигрыш от применения структурных помех (по амплитуде и по мощности излучения)

N_k	$q_{c/ш}^*$	$q_{стр}^*$	$g_{сп}$	$q_{c/п}^*$	δq	δQ
5	0,54	7,99	1,44	0,64	1,18	1,40
10	0,49	5,41	1,25	0,69	1,39	1,96
30	0,33	2,29	1,20	0,61	1,87	3,51
100	0,31	3,39	1	0,77	2,49	6,21
600	0,12	0,63	1	0,39	3,23	10,41

Использование в системе активного зашумления структурных помех для технической защиты конфиденциальной информации от утечки по каналу ПЭМИ средств отображения информации, использующих стандарт DVI, позволило обеспечить значения коэффициента энергетического выигрыша в интервале от 2 до 10 раз (на

3-10 дБ) в зависимости от длительности накопления ПЭМИ при выводе на экран монитора заданного количества кадров изображения.

6. Заключение. Анализ совместного применения шумовых маскирующих и структурных помех при защите конфиденциальной информации от технических средств перехвата ПЭМИ показал, что существует возможность обеспечения требуемой результативности защиты информации при использовании в системах активного зашумления структурных и шумовых помех с меньшей суммарной мощностью по сравнению с мощностью существующих генераторов, использующих только шумовые помехи. Осуществлен рациональный подбор параметров формирования структурных помех для трех случаев накопления полезного сигнала средством перехвата (при выводе на экран монитора 5, 10 и 30 кадров изображения). Выявлено, что при увеличении длительности накопления полезного сигнала средством перехвата для решения задачи защиты информации от утечки по каналу ПЭМИ необходимо использовать следующие параметры формирования структурных помех: вероятность появления отдельного импульса — 0,5; коэффициент увеличения амплитуды структурной помехи в интервале от 1,2 до 1,5. Получены зависимости изменения вероятности ошибочного восстановления блока графической информации от отношения средней амплитуды сигнала ПЭМИ к СКО шумовых маскирующих помех. Приведены зависимости коэффициента энергетического выигрыша от количества накапливаемых техническом средстве перехвата ПЭМИ по сравнению с шумовыми помехами от количества кадров изображений, выводимых на устройства отображения стандарта DVI.

Литература

1. *Хорев А.А.* Побочные электромагнитные излучения видеосистем средств вычислительной техники // Защита информации. Инсайд. 2014. № 1(55). С. 52–59.
2. *Бузов Г.А.* Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам // М.: РиС. 2014. 586 с.
3. *Макаренко С.И.* Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века: монография // СПб.: Научное издание. 2017. 546 с.
4. *Васечкин Е.А., Таранов А.Б.* Модель сигналов побочных электромагнитных излучений видеointерфейсов // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 4(47). С. 46–64.
5. *Pan X. et al.* Rotational micro-motion modulated jamming for countering ISAR based on intermittent sampling repeater // Progress In Electromagnetics Research. 2013. vol. 36. pp. 41–56.
6. *Вайц Е.В., Вайц В.Л., Грачева Ю.В.* Использование особенностей алгоритма кодирования интерфейса DVI в целях самомаскировки побочных электромагнитных излучений // Научный взгляд. Труды Международной научно-практической конференции. 2015. С. 218–222.

7. *Париуткин А.В., Егин А.В., Зайцев С.А.* Модель воздействия шумовых помех на оптимальный корреляционный приемник перехвата побочных электромагнитных излучений растровых систем отображения, использующих стандарт DVI // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2016. № 4. С. 127–133.
8. *Гусаров А.А., Егин А.В., Коновалов А.В., Левин Д.В.* Имитационная модель применения структурных помех в интересах обеспечения информационной безопасности систем обработки и отображения информации // Вопросы кибербезопасности. 2016. № 4(17). С. 45–53.
9. *Париуткин А.В., Левин Д.В., Егин А.В., Вознюк В.В.* Применение системы активного зашумления побочных электромагнитных излучений при передаче данных по стандарту DVI // Изв. высш. учебн. заведений: Приборостроение. 2017. Т. 60. № 1. С. 25–31.
10. *Kuhn M.G.* Compromising Emanations of LCD TV Sets // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 2013. vol. 55. no 3. pp. 564–570.
11. *Хорев А.А.* Математическая модель обнаружения побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера оптимальным приемником // Вопросы защиты информации. 2014. № 1(104). С. 65–71.
12. *Хорев А.А.* Экспериментальные исследования побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера // Специальная техника. 2013. № 6. С. 39–62.
13. *Авдеев В.Б., Катруша А.Н.* Методика определения максимальной дальности перехвата побочного электромагнитного излучения при наклонных трассах его распространения // Специальная техника. 2014. № 5. С. 8–16.
14. *Авдеев В.Б.* Сравнительная оценка максимального допустимого и реально достигаемого уровней спектральной плотности напряженности полей помех, создаваемых средствами электромагнитного зашумления // Специальная техника. 2014. № 6. С. 13–17.
15. *Авдеев В.Б., Бердышев А.В., Щеголеватых А.С., Провоторов Г.Ф.* Оценки потенциальных дальностей деструктивных электромагнитных воздействий на технические средства обработки информации и необходимых уровней их защиты // Сб. тр. XXIII Международной научно-технической конф. «Радиолокация, навигация, связь». 2017. С. 1150–1157.
16. *Авдеев В.Б., Анищенко А.В.* Сравнительная оценка методических подходов к расчету отношения сигнал/шум в задачах контроля защищенности информации от утечки за счет побочных электромагнитных излучений // Специальная техника. 2016. № 1. С. 54–63.
17. *Крылова С.Л.* Исследование побочных электромагнитных излучений видеосистемы ПЭВМ в учебной лаборатории информационной безопасности // Научные труды SWORLD. 2014. Т. 18. № 2. С. 80–85.
18. *Тарусов В.А., Васечкин Е.А.* Подход к формированию компенсационных сигналов в цифровых видеоинтерфейсах технических средств обработки информации // Специальная техника. 2017. № 1. С. 16–22.
19. *Антипенский Р.В., Ложкин К.Ю., Поддубный В.Н.* Применение Гильбертовских сигналов в статистической радиотехнике // Воронеж. 2012. 162 с.
20. *Сухопаров М.Е., Лебедев И.С.* Анализ состояния информационной безопасности на основе побочного излучения электронных компонент // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2017. № 2. С. 92–98.
21. *Гуляйкин Д.А., Тарусов В.А., Шалагинов В.А.* Модель системы измерений побочных электромагнитных излучений // Вестник рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 47. С. 62–67.
22. *Тихонов В.И., Харисов В.Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. 3-е изд. // М.: Горячая линия – Телеком. 2015. 608 с.

23. *Пучков Н.П.* Математическая статистика. Применение в профессиональной деятельности // Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ». 2013. 80 с.
24. *Wang L., Yu B.* Research on the compromising electromagnetic emanations from digital signals // Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012). 2012. pp. 1761–1764.
25. *Королев М.В.* Методика расчета границ зоны защищенности информации при измерениях ПЭМИ в дальней волновой зоне источника излучения // Безопасность информационных технологий. 2013. № 1. С. 58–62.

Паршуткин Андрей Викторович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: радиоэлектронная защита радиоэлектронных средств и систем, методы оценивания результативности помех и радиоэлектронных воздействий, методы создания интеллектуальных помех и защиты от них, методы и средства технической защиты информации. Число научных публикаций — 112. andydc2010@mail.ru; ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812)347-95-35, Факс: +7(812)237-12-49.

Левин Дмитрий Викторович — к-т техн. наук, преподаватель кафедры систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: техническая защита информации. Число научных публикаций — 19. dm.sovetnik@yandex.ru; ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: 7(812)347-95-35.

Зайцев Сергей Александрович — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедры систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: техническая защита информации. Число научных публикаций — 28. zaicev_s@mail.ru; ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812)347-95-35.

Егин Александр Валентинович — соискатель кафедры систем и средств радиоэлектронной борьбы космического назначения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: техническая защита информации. Число научных публикаций — 16. post.1538.st@yandex.ru; СПб, ул. Ждановская, д. 13; р.т.: +7(812)347-95-35.

A.V. PARSHUTKIN, D.V. LEVIN, S.A. ZAYTSEV, A.V. EGIN
**APPLICATION OF STRUCTURAL INTERFERENCE FOR DATA
PROTECTION FROM INFORMATION LEAKAGE IN THE STRAY
ELECTROMAGNETIC RADIATIONS CHANNEL**

Parshutkin A.V., Levin D.V., Zaytsev S.A., Egin A.V. **Application of Structural Interference for Data Protection from Information Leakage in the Stray Electromagnetic Radiations Channel.**

Abstract. This work is devoted to the rational choice of formation parameters for the masking noise and structural interference and their combined use for the protection of confidential information against leaks in the stray electromagnetic radiations channel of the displaying units using the DVI standard.

The work describes the simulation features of the influence of the interferences formed by the active jamming system on the quasioptimum receiver which serves as a tool for the interception. The principles of the pulse components formation in the stray electromagnetic radiations from displays based on the DVI standard-based video data transfer and specific pulse components of structural interference are presented. Noted that mode information output to the monitor screen have the broadband and repetitive stray electromagnetic radiations matching on frequency of the frame scan devices video path.

The indicator is set for the estimation of effectiveness of structural interference in the solution of the data protection problem from leakage through the channel of stray electromagnetic radiations — variations of the wrong color recognition probability in the block of graphic information. A detailed description is given for the dependences of the effectiveness indicator of structural interference on a number of frames of an image, accumulated in the technical tool for the interception of stray electromagnetic radiations, as well as for signal/noise to amplitude relation at the input of the technical interception tool.

On the basis of the simulation results we have evaluated the effectiveness of applying structural interference on active noise systems. Identified the feasibility of using structural interference with the protection of confidential information from leaking through the channel stray electromagnetic radiations means of information display the DVI standard. The advantages of decreased total output and power consumption by the active jamming devices are shown in comparison with the masking noise and traditional jamming methods.

Keywords: structural interference, stray electromagnetic radiation, active noise jamming system, data protection, technical information leakage channels, DVI standard.

Parshutkin Andrey Viktorovich — Ph.D., Dr. Sci., professor, professor of systems and electronic warfare systems for space applications department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: electronic protection of electronic equipment and systems, methods of estimating the impact of noise and electronic influences, methods of creation of intellectual interference and protection, methods and means of technical protection of information. The number of publications — 112. andydc2010@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812)347-95-35, Fax: +7(812)237-12-49.

Levin Dmitriy Viktorovich — Ph.D., lecturer of systems and electronic warfare systems for space applications department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: technical protection of information. The number of publications — 19. dm.sovetnik@yandex.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: 7(812)347-95-35.

Zaytsev Sergey Aleksandrovich — Ph.D., associate professor, associate professor of systems and electronic warfare systems for space applications department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: technical protection of information. The number of

publications — 28. zaicev_s@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812)347-95-35.

Egin Aleksandr Valentinovich — Ph.D. student of systems and electronic warfare systems for space applications department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: technical protection of information. The number of publications — 16. post.1538.st@yandex.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812)347-95-35.

References

1. Horev A.A. [Stray electromagnetic radiation of computer equipment video systems]. *Zachshita informatsii. Inside – Zašita informacii. Inside*. 2014. vol. 1 (55). pp. 52–59. (In Russ.).
2. Buzov G.A. *Zachshita informatsii ogranichenennogo dostupa ot utechki po tekhnicheskim kanalam* [Protection of restricted access information from leakage through technical channels]. Moscow: RiS Publ. 2014. 586 p. (In Russ.).
3. Makarenko S.I. *Informatsionnoe protivoborstvo i radioelektronnaya borba v setetsentricheskikh voynakh nachala XXI veka: monografiya* [Information warfare and electronic warfare to network-centric wars of the early XXI century: monograph]. SPb: Naukoemkie tekhnologii Publ. 2017. 546 p. (In Russ.).
4. Vasechkin E.A., Taranov A.B. [A model of signals of side electromagnetic radiation of video interfaces]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2016. vol. 4(47). pp. 46–64. (In Russ.).
5. Pan X. et al. Rotational micro-motion modulated jamming for countering ISAR based on intermittent sampling repeater. *Progress In Electromagnetics Research*. 2013. vol. 36. pp. 41–56.
6. Vayts E.V., Vayts E.V., Gracheva Yu.V. [The use of features of the encoding algorithm of the DVI interface in order to self-masking stray electromagnetic radiation]. *Nauchniy vzglyad. Trudy mezhdunarodnoy. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science view. Proceeding of the International scientific conference: Collected papers]. Moscow: MGOU Publ. 2015. pp. 218–222. (In Russ.).
7. Parshutkin A.V., Egin A.V., Zaytsev S.A. [The model of jamming intercept stray electromagnetic radiation optimal receiver of raster display systems with DVI standart]. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Kompyuternye sistemy – Information Security Problems. Computer systems*. 2016. vol. 4. pp. 127–133. (In Russ.).
8. Gusarov A.A., Egin A.V., Konovalov A.V., Levin D.V. [The simulation model of application structural interference in order to ensure information security of data processing and information display system]. *Voprosy kiberbezopasnosti – Cybersecurity issues*. 2016. vol. 4(17). pp. 45–53. (In Russ.).
9. 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. vyssh. uchebn. zavedenij: Priborostroenie – Proceedings of the higher educational institutions: Instrumentation*. 2017. Issue 60. vol. 1. pp. 25–31. (In Russ.).
10. Kuhn M.G. Compromising Emanations of LCD TV Sets. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 2013. vol. 55. no. 3. pp. 564–570.
11. Horev A.A. [Simulation model of computer vision system compromising electromagnetic emanations detection by optimal receiver]. *Voprosy zashchity informatsii – Information security questions*. 2014. vol. 1(104). pp. 65–71. (In Russ.).
12. Khorev A.A. [Experimental research of stray electromagnetic radiation of a computer video system]. *Spetsialnaya tekhnika – Special Equipment*. 2013. vol. 6. pp. 39–62. (In Russ.).

13. Avdeev V.B., Katrusha A.N. [A technique for definition of the maximum stray electromagnetic pickup range at inclined propagation paths]. *Spetsialnaya tekhnika – Special Equipment*. 2014. vol. 5. pp. 8–16. (In Russ.).
14. Avdeev V.B. [Comparative evaluation of maximum permissible and achievable spectral densities of the interference field strength in the presence of electromagnetic noise masking means]. *Spetsialnaya tekhnika – Special Equipment*. 2014. vol. 6. pp. 13–17. (In Russ.).
15. Avdeev V.B., Berdyshev A.V., Schegolevatykh A.S., Provotorov G.F. [Estimations of potential range destructive electromagnetic influence on technical facilities information handling and necessary level of their protection]. *Sb. tr. XXIII mezhdunarodnoy. nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. «Radolokatsiya, navigatsiya, svyaz»* [XXIII International scientific and technical conference «Radiolocation, navigation, communications»]: Collected papers]. Voronezh: Velborn Publ. 2017. vol. 3. pp. 1150–1157. (In Russ.).
16. Avdeev V.B., Anishchenko A.V. [Comparative assessment of methodological approaches to calculation of the signal-to-noise ratio in the tasks of monitoring of information protection against the leakage through stray electromagnetic radiation]. *Spetsialnaya tekhnika – Special Equipment*. 2016. vol. 1. pp. 54–63. (In Russ.).
17. Krylova S.L. [Research of side electromagnetic radiation of the video system computer training laboratory information security]. *Nauchnye trudy SWORLD – Project SWorld*. 2014. Issue 18. vol. 2. pp. 80–85. (In Russ.).
18. Tarusov V.A., Vasechkin E.A. [An approach to compensating signal forming in digital video interfaces of information processing equipment]. *Spetsialnaya tekhnika – Special Equipment*. 2017. vol. 1. pp. 16–22. (In Russ.).
19. Antipenskiy R.V., Lozhkin K.YU., Poddubnyi V.N. *Primenenie Gilbertovykh signalov v statisticheskoy radiotekhnike* [Application of Hilbert signals in statistical radio engineering]. Voronezh. 2012. 162 p. (In Russ.).
20. Suhoparov M.E., Lebedev I.S. [Analysis of information security status based on adverse radiation of electronic components]. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Kompyuternye sistemy – Information Security Problems. Computer systems*. 2017. vol. 2. pp. 92–98. (In Russ.).
21. Gulaikin D.A., Tarusov V.A., Shalaginov V.A. [Model of electromagnetic radiation measuring system]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta – Vestnik of Ryazan state radioengineering university*. 2014. vol. 47. pp. 62–67. (In Russ.).
22. Tikhonov V.I., Kharisov V.N. *Statisticheskiy analiz i sintez radiotekhnicheskikh ustroystv i sistem 3 izd.* [Statistical analysis and synthesis of radio devices and systems: 3rd ed.]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom Publ. 2015. 608 p. (In Russ.).
23. Puchkov N.P. *Matematicheskaya statistika. Primenenie v professionalnoy deyatel'nosti* [Mathematical statistics: application in professional activity]. Tambov: TGTU Publ. 2013. 80 p. (In Russ.).
24. Wang L., Yu B. Research on the compromising electromagnetic emanations from digital signals. *Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012)*. 2012. pp. 1761–1764.
25. Korolev M.V. [Method of calculation of the zone boundary protection of information in the far field radiation source]. *Bezopasnost informatsionnykh tekhnologiy – It Security*. 2013. vol. 1. pp. 58–62. (In Russ.).