

УДК 621.391.82

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АДАПТИВНОГО МАСКИРОВАНИЯ ВИДЕОСИГНАЛА ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, А.В. БАРКОВ
(Полоцкий государственный университет)

Экспериментально исследованы новые методы выделения и маскирования видеосигнала от утечки по техническим каналам адаптивными синхронными видеошумовыми цветными кадрами. Обосновано практическое использование новых методов обработки, оценки априорно неизвестных в шумах параметров синхроимпульсов для выделения и восстановления видеокадров в каналах утечки информации, а также метода активного маскирования синхронным и адаптивными видеошумовыми кадрами неподвижных (статических) и подвижных (динамических) видеокадров в каналах утечки видеосигналов. Изучено маскирование предложенного тестового видеокадра динамическим случайным видеошумом и адаптивными видеошумовыми кадрами, восстановление видеокадра реализовано разработанным алгоритмом и программным средством синхронного накопления видеокадров, значительно улучшающее отношение сигнал/шум. Экспериментальные исследования подтвердили преимущества маскирования статического видеокадра адаптивными синхронными видеошумовыми кадрами, которое по сравнению с динамическим шумом не позволяет выделить видеокадр, уменьшает его чёткость и повышает защищённость видеосигнала пропорционально отношению корня квадратного из числа видеокадров к количеству смен видеошумового кадра.

Введение. Способы защиты информации формируются и реализуются для различных сигналов, являющихся переносчиками защищаемой информации (речевая, видео, передача данных) [1]. Степень защиты информации формируют на основании особенностей каналов утечки информации в условиях эксплуатации объекта защиты информации. Защиту информации обеспечивают в каналах, доступных для извлечения информации [1]. Развитие методов и средств обнаружения и восстановления видеосигналов из шумов высокого уровня определило совершенствование традиционных и обоснование разработки новых методов защиты и оценки их защищённости.

Шумы высокого уровня и отсутствие априорной информации о сигнале обуславливают необходимость выделения сигнала из случайного процесса [1] в канале утечки информации (КУИ). Проанализированы современные работы, демонстрирующие возможность восстановления видеосигналов [3; 4; 5, с. 121; 6–8] и основные их принципы. Из анализа этих работ следует, что восстановление видеосигнала невозможно без точных параметров синхроимпульсов [8] для выделения видеокадров. Для обнаружения видеокадра в шумах необходимо обнаружить его элементы. Восстановление синхроимпульсов как одной из составляющих сложного сигнала обуславливает возможность выявления КУИ, выделения видеокадров и их восстановления синхронным накоплением. Восстановление синхроимпульсов производится из видеосигнала в КУИ [9].

Современные методы восстановления видеосигнала и оценки защищённости определяют направление развития методов защиты от утечки.

Известные генераторы шума не формируют синхронных с маскируемым сигналом статических маскирующих помех для достижения положительного технического эффекта.

В работе [8] экспериментально исследованы метод извлечения видеосигналов при априорно известной информации о синхроимпульсах и принцип защиты информационных пикселей позиционным сдвигом (временным и частотным), чем искажается точное значение интенсивности информационного значения пикселей. В этой же работе для генерации синхроимпульсов использован внешний генератор со стабильными точными параметрами синхронизации.

В современных системах обработки видеосигналов развертка содержит несколько стандартизированных частот, например, некоторые режимы работы [10]: 640×480 60 Гц; 640×480 72 Гц; 640×480 75 Гц; 800×600 60 Гц; 800×600 75 Гц.

В качестве тестового режима [8] использован стандартизированный XGA (1024×768). Принцип защиты здесь основан на позиционном сдвиге пикселей с изменением тактовой частоты синхронизации для затруднения восстановления видеокадров, так как их перехват невозможен без восстановления точных данных о синхроимпульсах. Можно согласиться с утверждениями авторов [8] о недостаточной защищённости принятыми мерами тестовых видеосигналов в виде букв из алфавита.

Современные методы активного маскирования не формируют адаптивные с видеосигналом помехи. Выявлены особенности маскирования сигнальных видеокадров шумовыми сигналами, которые показали, что изображение маскируется динамическим шумом менее эффективно из-за несинхронного его накопления. Реализация современных методов защиты видеосигналов возможна разработкой адаптивных

методов их маскирования для улучшения защищенности синхронным накоплением. Предложены два основных направления защиты видеосигнала: компенсация синхроимпульсов на выходе канала утечки видеосигнала [11, 12]; адаптивное маскирование информативной составляющей видеокадра [13, 14]. Принцип маскирования статических (неподвижных) и динамических (подвижных) видеокадров синхронными и адаптивными видеошумовыми кадрами заключается в формировании синхронных с видеосигналом статических видеошумовых кадров для подавления каналов утечки. Улучшение отношения сигнал/шум (ОСШ) статического видеосигнала пропорционально времени накопления T и частоте воспроизведения видеокадров f_v . Накопление n видеокадров зашумленного динамическим шумом видеосигнала улучшает ОСШ пропорционально $\sqrt{n}$. Защита видеосигнала адаптивным маскированием видеошумовыми кадрами улучшает защищенность относительно динамических случайных шумов пропорционально $\sqrt{n}/\sqrt{k}$, где k – количество смен видеошумового кадра в течение времени T . Маскирование синхронными и адаптивными видеошумовыми кадрами затрудняет восстановление видеокадра синхронным накоплением, значительно снижает четкость видеокадра и улучшает защищенность видеосигнала. Экспериментально подтвердить эффективность защиты видеосигналов новыми методами обработки, оценки априорно неизвестных параметров синхроимпульсов для выделения и восстановления видеокадров в КУИ, а также методом активного маскирования синхронными и адаптивными видеошумовыми кадрами статических (неподвижных) и динамических (подвижных) видеокадров в каналах утечки видеосигналов – цель данного эксперимента. Задача состоит в исследовании маскирования тестового видеокадра динамическим случайным видеошумом и адаптивными видеошумовыми кадрами, восстановлении видеокадров из шумов синхронным накоплением для оценки защищенности, обоснования выбора хаотических импульсных последовательностей (ХИП) для формирования видеошумовых кадров.

Экспериментальное исследование маскирования видеосигнала. Экспериментально исследованы результаты маскирования тестового видеокадра динамическим (случайным для каждого видеокадра) белым шумом [15]. Восстановление зашумленного видеокадра реализовано разработанным алгоритмом и программным средством синхронного накопления видеокадров. Синхронное накопление (периодическое усреднение) увеличивает ОСШ периодического сигнала. Упрощенная блок-схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

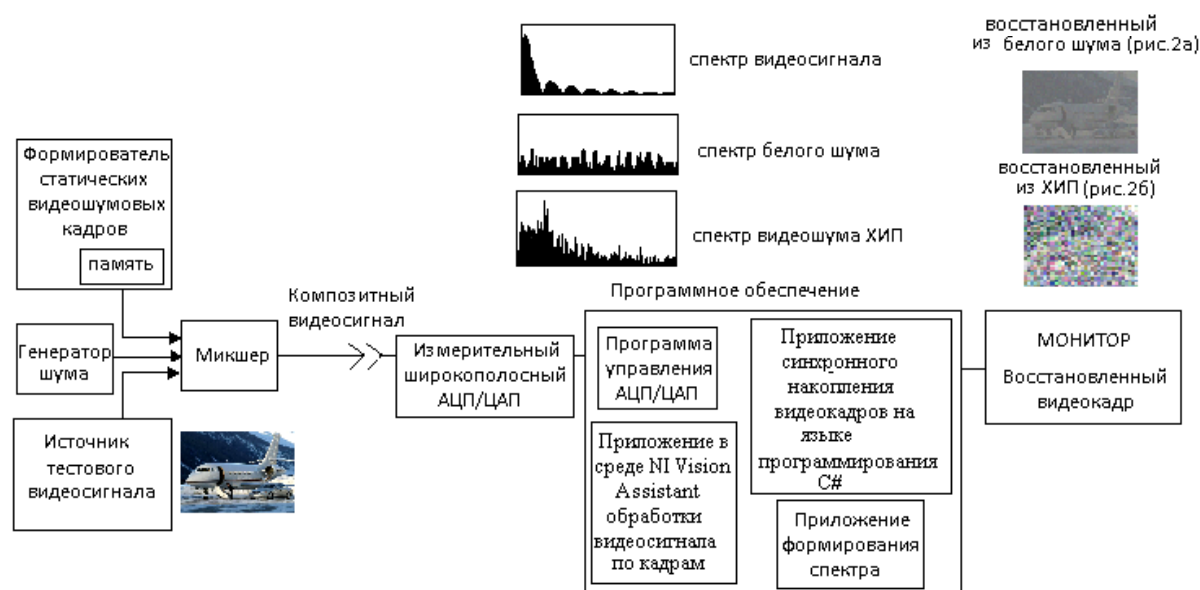


Рис. 1. Упрощенная блок-схема экспериментальной установки

Установка содержит генератор шума, формирователь видеошумовых кадров, источник тестового видеосигнала, микшер, метрологический измерительный широкополосный аналого-цифровой преобразователь/цифроаналоговый преобразователь (АЦП/ЦАП), персональный компьютер с программным обеспечением для проведения экспериментальных исследований. Основные технические характеристики измерительного широкополосного АЦП/ЦАП представлены в таблице.

Программное обеспечение обработки видеосигнала включает программу управления измерительного широкополосного АЦП/ЦАП, разработанное в среде NI Vision Assistant приложение для обработки видеосигнала по кадрам, приложение формирования спектра по данным измерительного АЦП/ЦАП и разработанное приложение синхронного накопления видеокадров на языке программирования C#.

Основные технические характеристики измерительного широкополосного АЦП/ЦАП

Параметр	Величина
Количество каналов	4
Разрядность АЦП, бит	14
Входные поддиапазоны, В	$\pm 3,0$; $\pm 1,0$; $\pm 0,3$ независимая настройка для каждого канала
Входное сопротивление аналогового входа АЦП, МОм	10
Максимальная частота преобразования, МГц	10
Типичное отношение сигнал/шум канала АЦП, дБ	73
Межканальное прохождение, не более, дБ: на постоянном напряжении на частоте 1 кГц на частоте 1 МГц	-70 -75 -65
FIFO буфер данных, МБ	8
Режимы синхронизации	Частоты АЦП старта-сбора данных (по цифровому и аналоговым сигналам)
Дополнительные возможности	Сбор заданного количества кадров от синхросигнала, задержанный старт на заданное количество кадров и др.
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерения, %, в диапазоне частот входного напряжения от 0,5 до 1 МГц	± 1

Экспериментально исследовано маскирование цветного тестового видеокadra динамическим белым шумом при ОСШ 1/15. Видеосигнал длительностью 30 секунд статического (неподвижного) тестового видеокadra зашумлён динамическим белым шумом, т.е. шумом, который был различен для каждого тестового видеокadra. Результат синхронного накопления зашумленных видеокadres представлен на рисунке 2, а. Получено чёткое изображение видеокadra, в котором восстановлены различимые мелкодетальные элементы и цветовые компоненты тестового видеокadra. Восстановление видеокadra синхронным накоплением обуславливает задачу разработки метода адаптивного маскирования видеосигналов.

Исследовано маскирование синхронными и адаптивными видеошумовыми кадрами при ОСШ 1/15, которое затрудняет восстановление видеокadra синхронным накоплением. Оценка повышения защищённости видеосигнала реализована двумя способами: первый эксперимент заключается в маскировании видеосигнала динамически изменяющимся шумом ХИП [16]; второй – в маскировании видеосигнала сформированными синхронными и адаптивными видеошумовыми кадрами.

В [13] предложено формирование маскирующих видеошумовых кадров на основе ХИП. Экспериментальное исследование первого способа демонстрирует эффективность маскирования шумом ХИП по отношению к белому шуму. Маскирующий шум ХИП реализован генератором ХИП, высокочастотные составляющие которого подавляют мелкодетальные элементы изображения, а контуры крупномасштабных изображений разрушаются низкочастотными составляющими ХИП. Представлены результаты эксперимента по синхронному накоплению замаскированного цветного тестового видеокadra (длительность видеосигнала 30 с), которые подтвердили разрушение контуров крупноплановых элементов восстановленного видеокadra (рис. 2, б), что повышает защищённость видеокadres.

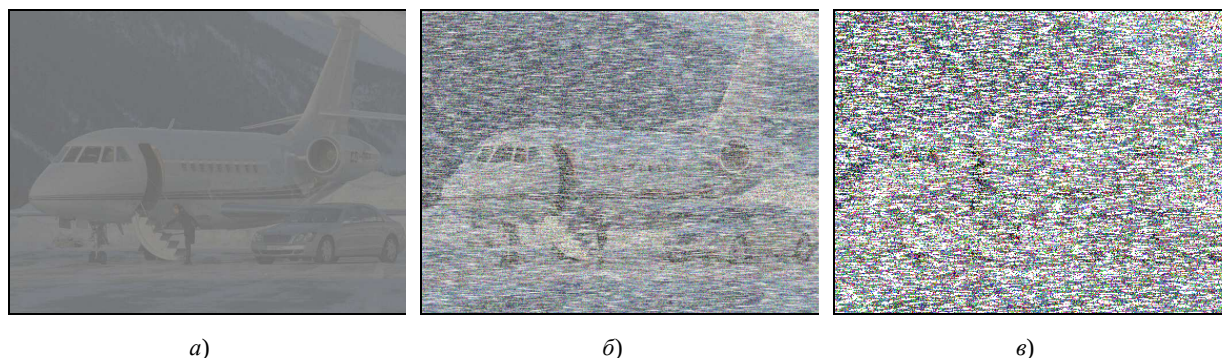


Рис. 2. Восстановленный синхронным накоплением тестовый видеокادر (длительность видеосигнала 30 с):
а – зашумленный динамическим белым шумом; б – зашумленный динамическим шумом ХИП;
в – зашумленный синхронными адаптивными видеошумовыми кадрами

Второй эксперимент реализует маскирование тестового изображения адаптивными видеозумовыми кадрами, синхронными с видеосигналом. Результаты эксперимента синхронного накопления статических видеокадров, синхронно зашумленных адаптивными видеозумовыми кадрами, проиллюстрированы рисунком 2, в, который практически не отличается от зашумленного до обработки накоплением, что подтверждает эффективность метода и повышение защищенности видеосигнала от утечки пропорционально отношению корня квадратного из числа видеокадров к количеству смен шумового видеокадра. Так, при накоплении видеосигнала со среднестатистической длительностью 30 секунд при $n = 750$ и $k = 6$ предлагаемый метод улучшает защищенность в 11 раз.

В итоге проведенный эксперимент подтвердил эффективность маскирования видеокадров шумами ХИП (см. рис. 2, б, в) по отношению к белому шуму (см. рис. 2, а) при одинаковом ОСШ зашумленного видеосигнала.

Экспериментальные данные спектра тестового видеосигнала (рис. 3) соответствуют исследованиям энергетического спектра видеосигнала [17, 18], подтверждают периодический характер спектра (рис. 3), где компоненты спектра группируются вокруг гармоник строчной частоты [18], а интенсивность составляющих уменьшается с ростом частоты спектральной составляющей.

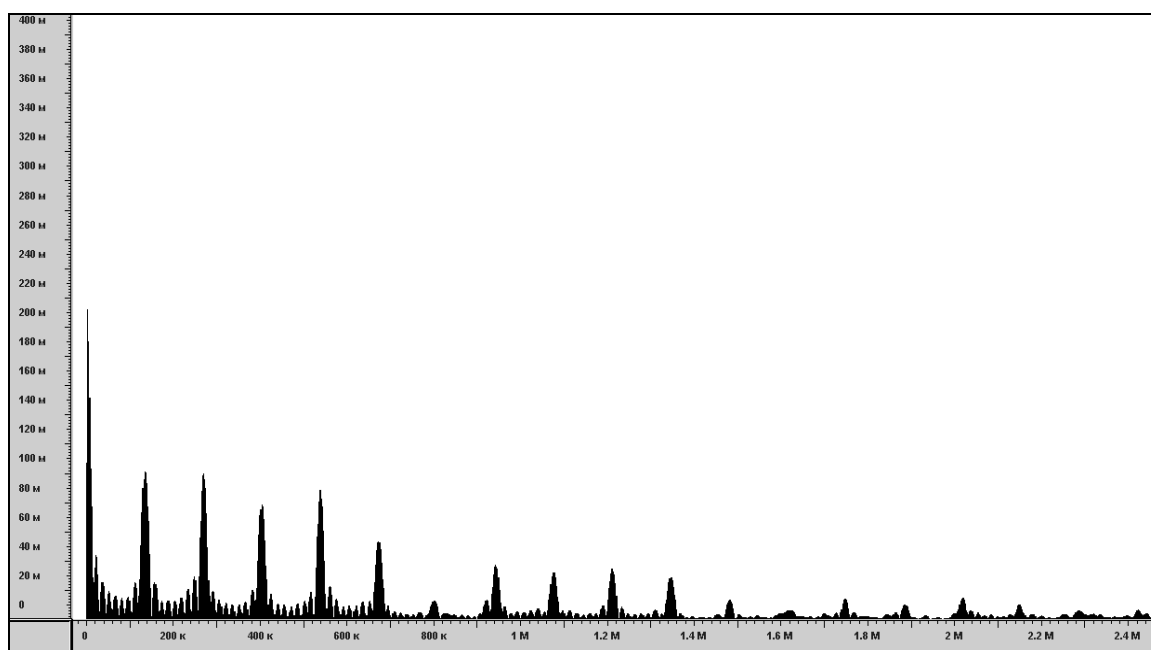


Рис. 3. Экспериментальная зависимость амплитуд спектральных составляющих тестового видеокадра от частоты

Структура спектра видеосигнала [17, 18] требует большей энергии маскирующего шума в его НЧ-диапазоне и меньшей для ВЧ-диапазона. Белый шум формирует в полосе видеосигнала пиксельное зашумление равномерно по всем спектральным составляющим. Это обуславливает избыточную энергию в ВЧ-диапазоне маскирующего шума для видеосигнала и недостаточное маскирование в НЧ. Это затрудняет разрушение контуров крупноплановых элементов. Спектр шума ХИП (рис. 4) сформированного видеозумового кадра подобен спектру видеосигнала, представленного на рисунке 3, что позволяет при равной общей мощности больше энергии концентрировать в НЧ-диапазоне видеосигнала, обеспечивая равномерное маскирование составляющих видеосигнала.

Результаты экспериментальных исследований восстановления видеосигнала, зашумленного динамическим шумом подтверждают эффективность маскирования видеокадров шумами ХИП по отношению к белому шуму (см. рис. 2). Это позволяет разрушать спектральные компоненты тонкой структуры видеокадра и эффективно маскировать как мелкодетальные элементы, так и крупноплановые разрушением их контуров.

Эффективность метода маскирования синхронными и адаптивными видеозумовыми кадрами подтверждена экспериментально. Метод обеспечивает лучшее качество маскирования, снижает ОСШ по сравнению с динамическим шумом пропорционально $\sqrt{n}/\sqrt{k}$. Экспериментальные исследования подтвердили преимущества маскирования статического видеокадра синхронными видеозумовыми кадрами (рис. 2, в), которое по сравнению с динамическим шумом (рис. 2, а, б) не позволяет выделить видеокадр, снижает его четкость и повышает защищенности видеосигнала в зависимости от ОСШ.

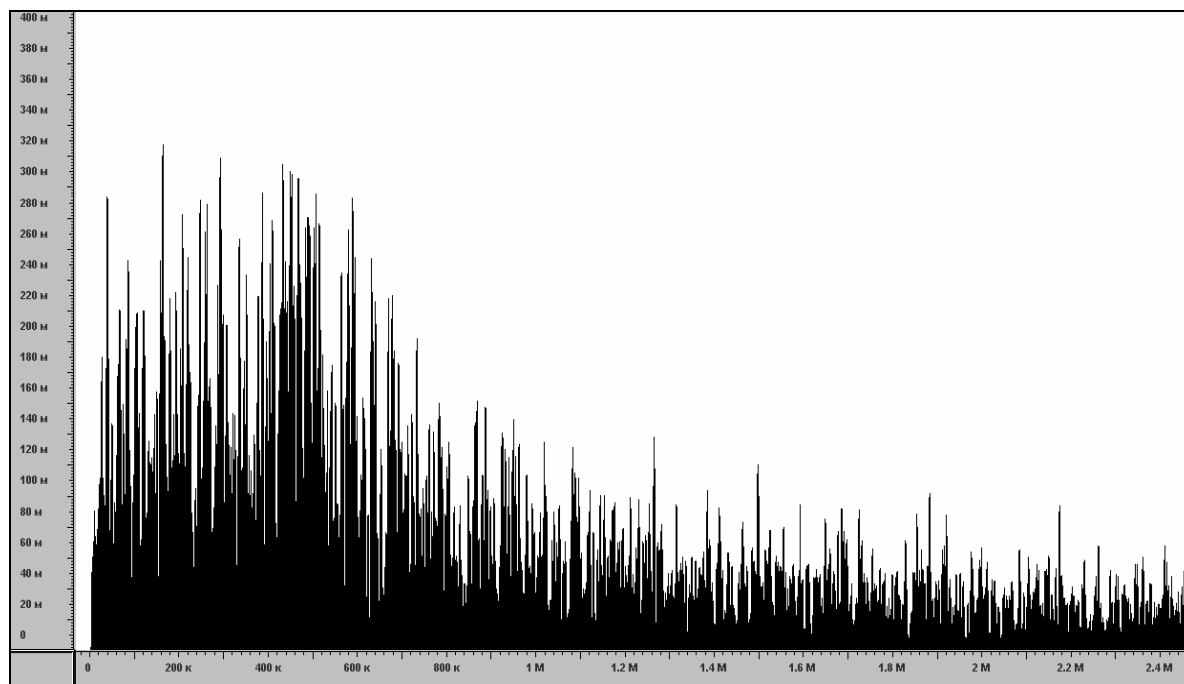


Рис. 4. Экспериментальная зависимость амплитуд спектральных составляющих шума хаотической импульсной последовательности от частоты

Вывод. Экспериментальные исследования подтвердили преимущества метода адаптивного маскирования видеосуммовыми цветными кадрами для статических и динамических видеокадров. Маскирование тестового видеокадра адаптивными видеосуммовыми кадрами при синхронном накоплении видеокадров обеспечивает лучшее качество маскирования и снижает ОСШ по сравнению с динамическим пропорционально отношению корня квадратного из числа видеокадров к количеству смен видеосуммового кадра $\sqrt{n}/\sqrt{k}$. Накопление видеосигнала длительностью $T = 30$ секунд с числом кадров $n = 750$ и количеством смен видеосуммового кадра $k = 6$ защищенность по ОСШ улучшается в 11 раз.

Результаты экспериментальных исследований нового метода формирования и накопления видеосуммовых кадров синхронного маскирования видеокадра подтвердили его эффективность (см. рис. 2, в) по отношению к белому шуму (рис. 2, а). Обоснована эффективность формирования видеосуммовых кадров из ХИП (ис. 4), распределение спектральной плотности которого аналогична видеосигналу (рис. 3). Это позволяет разрушать спектральные компоненты тонкой структуры видеокадра и эффективно маскировать как мелкодетальные элементы, так и крупноплановые разрушением их контуров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железняк, В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учеб. пособие / В.К. Железняк. – СПб.: ГУАП, 2006. – 188 с.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – Изд. 2-е, перераб. Е.Г. Грозы [и др.]; под ред. О.М. Ядренко. – М.: Издат. Дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Wim van Eck: Electromagnetic Radiation from Video Display Units: An Eaves-dropping Risk? Computers & Security. – 1985. – Vol. 4. – P. 269–286.
4. Markus, G. Kuhn Security Limits for Compromising Emanations / G. Markus [Electronic resource] // Computer Laboratory, University of Cambridge, 15 JJ Thomson Avenue, Cambridge CB3 0FD. – Mode of access: www.cl.cam.ac.uk/~mgk25/ches2005-limits.pdf. – Date of access: 30.09.2013.
5. Петраков, А.В. Основы практической защиты информации. – М.: Радио и связь, 1999. – 368 с.
6. Tanaka, H. A trial of the interception of display image using emanation of electromagnetic wave / H. Tanaka, O. Takizawa, A. Yamamura // Journal of the National Institute of Information and Communications Technology. – 2005. – 52(1/2). – P. 213–223.
7. Markus, G. Kuhn Eavesdropping attacks on computer displays / G. Markus [Electronic resource] // Computer Laboratory, University of Cambridge, 15 JJ Thomson Avenue, Cambridge CB3 0FD. – Mode of access: www.cl.cam.ac.uk/~mgk25/iss2006-tempest.pdf. – Date of access: 30.09.2013.

8. Watanabe, T. Synchronization Clock Frequency Modulation Technique for Compromising Emanations Security / T. Watanabe, H. Nagayoshi, H. Sako // 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC'09 Kyoto) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ieice.org/proceedings/EMC09/pdf/21P1-4.pdf>. – Date of access: 04.12.2013.
9. Способ обнаружения периодической импульсной последовательности и оценки ее периода: пат. 17138 Респ. Беларусь, МПК G 01R 23/02 / В.К. Железняк, А.В. Барков; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 20110815; заявл. 10.06.2011.
10. VESA Monitor Timing Specifications, Version 1.0: Video Electronics Standards Association, September 1998.
11. Барков, А.В. Обнаружение и компенсация зашумленных импульсных последовательностей периода / А.В. Барков, В.К. Железняк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2013. – № 4. – С. 35–39.
12. Барков, А.В. Способ подавления зашумленных импульсных последовательностей путем компенсации / А.В. Барков, В.К. Железняк // Электроника инфо. – 2013. – № 96. – С. 212–216.
13. Барков, А.В. Формирование маскирующей помехи для защиты видеосигнала от утечки по техническим каналам периода / А.В. Барков, В.К. Железняк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2012. – № 12. – С. 40–45.
14. Барков, А.В. Маскирование RGB-видеокадров синхронным и адаптивным шумовым RGB-видеокадром / А.В. Барков, В.К. Железняк // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия С. Фундаментальные науки. – 2013. – № 12. – С. 2–7.
15. Барков, А.В. Метод маскирования статических и динамических RGB-видеокадров синхронным и адаптивным шумовым RGB-видеокадром / А.В. Барков, В.К. Железняк // Современные средства связи: материалы XVIII междунар. науч.-техн. конф., Минск, 15–16 окт. 2013 г. / ВГКС; редкол.: А.О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2008. – С. 186–187.
16. Защита от радиопомех / М.В. Максимов и [др.]; под общ. ред. М.В. Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 496 с.
17. Дерюгин, Н.Г. Спектр мощности и функция корреляции телевизионного сигнала / Н.Г. Дерюгин // Электросвязь. – М., 1957. – № 7 – С. 3–14.
18. Игнатьев, Н.К. Энергетический спектр телевизионного сигнала / Н.К. Игнатьев // Электросвязь. – Москва, 1959. – № 7 – С. 21–27.

Поступила 04.03.2014

EXPERIMENTAL STUDY OF THE METHOD OF ADAPTIVE VIDEO MASKING LEAKAGE THROUGH TECHNICAL CHANNELS

V. ZHELEZNYAK, A. BARKOV

New methods of allocation and video signal masking from leak on technical channels are experimentally investigated by adaptive synchronous video noise color frames. The purpose of pilot studies is justification and practical use of new methods of processing, an assessment of parameters of clock pulses a priori unknown in noise for allocation and recovery of the video frames in information leakage channels, and also a method of active masking synchronous and adaptive video noise frames of the motionless (static) and mobile (dynamic) video frame in channels of leakage of video signals. Masking of the offered test video footage by dynamic casual video noise and adaptive video noise frames is investigated, recovery of the video frame is realized by the developed algorithm and a software of synchronous accumulation of the video frames which considerably improves the relation signal/noise. Pilot studies confirmed advantages of masking of the static video frame with adaptive synchronous video noise frames which in comparison with dynamic noise doesn't allow to allocate the video frame, reduces its clearness and increases security of video signal in proportion to the relation of a root square number of the video frames to number of changes of a video noise frame.