

УДК 621.396.41

Д.А. Антипов, А.А. Шелупанов

Исследование направленности побочного электромагнитного излучения от персонального компьютера

Исследуется распространение побочного электромагнитного излучения от устройств в составе персонального компьютера. В ходе работы проведены эксперименты, демонстрирующие неравномерные характеристики диаграммы направленности излучения. Приведены расчётные соотношения, позволяющие оценить влияние неравномерности распространения на защищённость информации. Сделан вывод о том, что величина колебаний уровня сигнала, в зависимости от направления излучения, оказывает влияние на защищённость информации.

Ключевые слова: побочное электромагнитное излучение, защита информации, диаграмма направленности, монитор, USB-накопитель.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-33-37

Источником побочного электромагнитного излучения (ПЭМИ) в электронных устройствах являются проводники с протекающим по ним током. Из-за формы и топологии проводников, они могут становиться случайными антеннами, распространяющими электромагнитное излучение (ЭМИ) в пространство [1–7]. На распространение ЭМИ оказывает влияние техническое исполнение электронного устройства [2]. Например, металлический корпус способен действовать как экран, снижая уровень ЭМИ.

Проводники в устройстве являются антеннами, расположенными случайным образом относительно друг друга. Излучение антенн интерферирует между собой. Предполагается, что из-за их несогласованного расположения распределение излучения близко к равномерному. Целью данной работы является исследование распределения ЭМИ от устройств в составе персонального компьютера.

Построение измерительного стенда и расчёт дальности распространения ЭМИ

Для проведения экспериментов, был построен измерительный стенд. Характеристики элементов стенда и процедура съёма уровней сигнала соответствуют методике специальных исследований побочных электромагнитных излучений

Измерительный стенд включает в себя:

- широкополосный спектральный анализатор R&S FSC-3;
- антенну дипольную активную «АИ5-0»;
- автоматизированное рабочее место (АРМ), состоящее из системного блока, монитора, клавиатуры и мыши;
- поворотный стол.

На рис. 1 представлено его схематичное изображение.

Эксперименты направлены на исследование излучения монитора, а также USB-накопителей, подключённых к системному блоку. Основной целью ставится снятие диаграмм направленности (ДН) излучения и их анализ. Задачей является проверка предположения, что ДН – равномерна. Если она не равномерна, то необходимо оценить неравномерность, сравнив уровни сигнала.

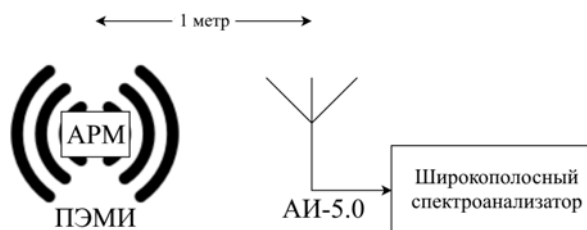


Рис. 1. Схема измерительного стенда

Снимая уровень напряжённости и поворачивая стол с шагом 10, получаем ДН. Уровень напряжённости усредняется по 3 последним измерениям.

Измеренные уровни сигналов «сигнал+шум» и «шум» [8] позволяют выделить напряжённость сигнала [9–11]. После алгебраического вычитания сигналов возможно пересчитать результат в дБмкВ [12]. Воспользуемся выражением

$$U_c = 20 \times \lg \sqrt{10^{(U_{c+ш}/10)} - 10^{(U_{ш}/10)}}, \quad (1)$$

где $U_{c+ш}$ – значение напряжённости смеси «сигнал+шум»; $U_{ш}$ – значение напряжённости шума; U_c – значение напряжённости сигнала.

Таким образом, показатель защищённости Π определяется как

$$\Pi = U_c - U_{ш}. \quad (2)$$

При расчёте коэффициента затухания K_{Π} используются измеренные величины напряжённости между точками измерения

$$K_{\Pi} = \frac{20 \times \lg(U_{1изм}/U_{2изм})}{l}, \quad (3)$$

где l – расстояние между точками измерения.

После расчёта показателя защищённости и коэффициента затухания рассчитывается возможная длина пробега сигнала:

$$R_i = \frac{\Pi}{K_{\Pi}}. \quad (4)$$

Исследование направленности излучения монитора

Опорная частота информативного сигнала, излучаемого монитором, определяется на основе раз-

решения экрана и частоты обновления изображения [13]. При анализе внутреннего устройства LCD-монитора, было замечено его сходство с антенной решёткой: проводники располагаются плоской двумерной матрицей [14]. Однако расстояние между соседними проводниками, по которым проходит ток, не постоянно, так как не все пиксели работают одновременно. Более того, пиксель формируют субпиксели, работающие в зависимости от выводимого на экран изображения.

На основе этих особенностей выдвинуто предположение, что ДН излучения от монитора будет схожа с ДН антенной решётки (рис. 5). Однако основной лепесток ДН будет менее выражен из-за представленных выше особенностей функционирования монитора.

В ходе исследования были изучены 3 монитора различных марок: BenQ BL902M, LG 24MP65HQ-P, Samsung EX2020X. Каждый из мониторов обладал уникальной ДН, но в данной работе представлены ДН, имеющие самые выраженные неравномерности. Чем больше разница уровней сигнала по разным направлениям излучения, тем больше вероятность реализации утечки информации, так как присутствует возможность неправильной оценки распространения ПЭМИ, сделанной экспертом.

Были сняты ДН мониторов, лежащие в плоскостях XOY и YOZ , как представлено на рис. 2. Диаграммы дальности распространения подобны ДН в шкале мкВ/м.

Результаты измерений представлены на рис. 3 и 4. Горизонтальная ДН (см. рис. 3) подтвердила предположения о её схожести с ДН антенной решётки (см. рис. 5). На рис. 3 направление 0° соответствует оси X (см. рис. 2). У ДН есть участки более высокого уровня излучения (от 320 до 60°). В этом диапазоне уровень сигнала меняется в пределах 17 – 27 мкВ/м, тогда как на остальной части диаграммы (от 60 до 320°) уровень сигнала изменяется в узком диапазоне 11 – 16 мкВ/м. Шум остаётся на уровне 3 – 4 мкВ/м. Дальность распространения лежит в пределах $3,2$ – $6,6$ м. Это означает, что в направлении наибольшего уровня излучения сигнал «пробегает» более чем в два раза большее расстояние по сравнению с наименьшим.

У вертикальной ДН (см. рис. 4) направление 0° соответствует оси Z (см. рис. 2). На вертикальной ДН колебания уровень сигнала меняется в пределах 6 – 12 мкВ/м. Несмотря на то, что они менее выражены по сравнению с горизонтальной ДН, неравномерность распространения ЭМИ присутствует. Максимальный уровень сигнала излучается в диапазоне 10 – 140° и изменяется в пределах 10 – 12 мкВ/м.

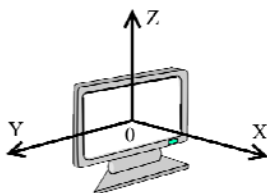


Рис. 2. Обозначение ориентации монитора при описании ДН

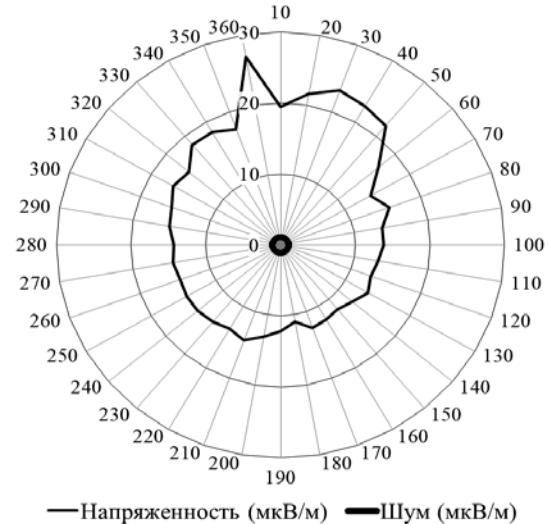


Рис. 3. Горизонтальная ДН для монитора BenQ BL902M, подключенного по DVI-интерфейсу

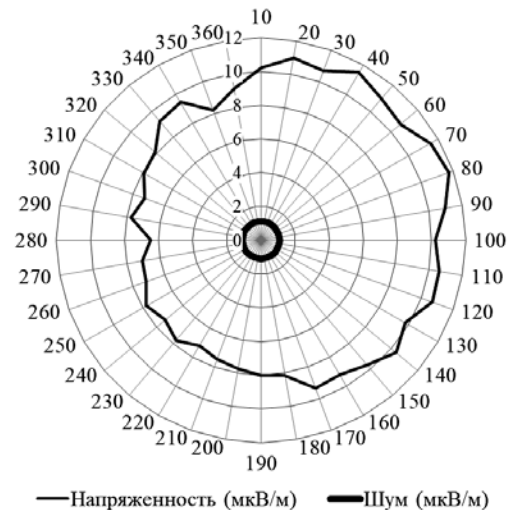


Рис. 4. Вертикальная ДН для монитора BenQ BL902M, подключенного по DVI-интерфейсу

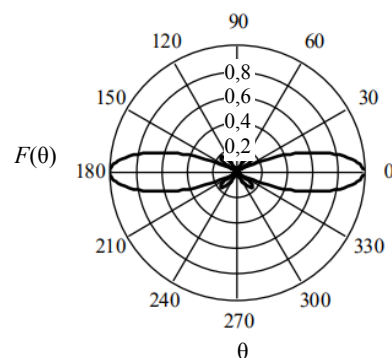


Рис. 5. Нормированная амплитудная ДН решетки из 4 полуволновых линейных симметричных электрических вибраторов

Исследование влияния расположения кабеля видеointерфейса на диаграмму направленности излучения монитора

По соединительному кабелю видеointерфейса передаётся информация для вывода на экран. Так как он является проводником, предполагается, что уровень ПЭМИ от него будет сопоставим с излу-

нием монитора. Если кабель расположен вдоль прямой линии, ДН излучения от него будет подобна ДН штыревой антенны [15] (рис. 6).



Рис. 6. Горизонтальная и вертикальная ДН штыревой антенны

Эксперимент проводится с целью выявить влияние соединительного видеокабеля на распространение ПЭМИ.

Было проведено два цикла измерений. В первом цикле положение кабеля сохранялось таким образом, чтобы не оказывать влияния на снимаемые уровни излучения. Оно соответствовало оси X (см. рис. 2). На этой же оси располагалась и измерительная антенна.

Во втором цикле измерений кабель был размещён коллинеарно оси Y , чтобы обеспечивать максимальный уровень влияния на уровень принимаемого сигнала.

Все измерения проводились с монитором LG 24MP65HQ-P. В обоих циклах измерений использовались VGA- и DVI-интерфейсы. В работе представлены ДН для VGA-интерфейса.

Результаты измерений представлены на рис. 7. Полученные ДН показывают, что уровни принятого сигнала возрастают при максимальном воздействии кабеля по сравнению с минимальным. В среднем, уровень возрастает в 2 раза, при этом есть участки, где возрастание ниже среднего (от 10 до 140°), и участки (от 210 до 220°), где сигнал возрастает более чем в 2,6 раза.

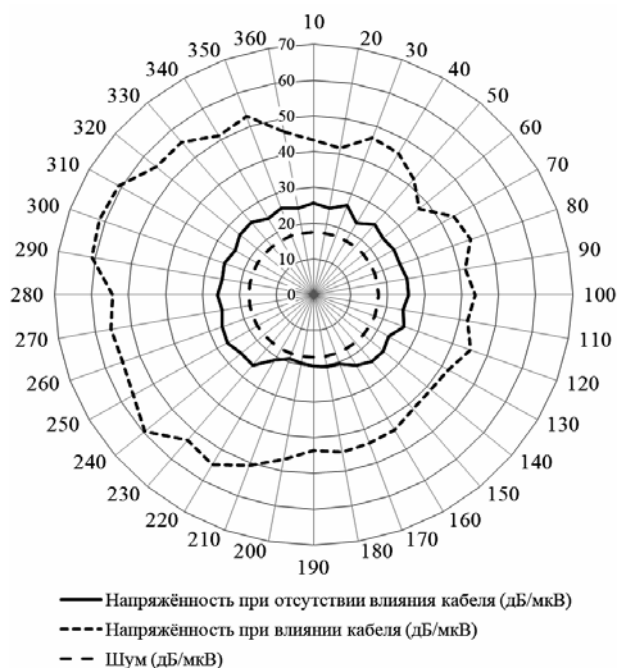


Рис. 7. Горизонтальные ДН при различном расположении соединительного видеокабеля

Исследование направленности излучения от USB-накопителей

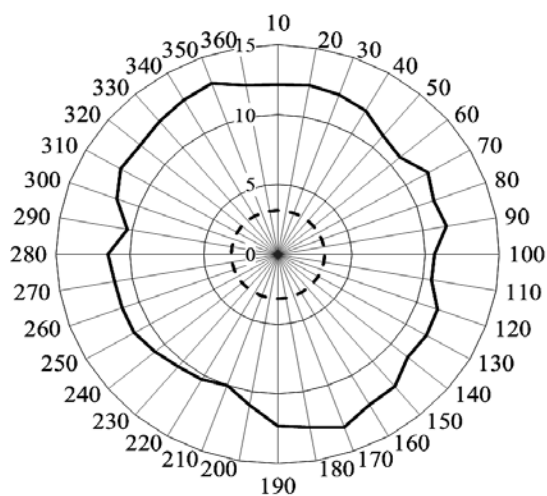
В экспериментах исследовались USB-накопители, хранящие память по технологии flash. Интерфейс обмена данными у накопителей – USB 2.0. USB-flash-накопители миниатюрны. Плотность расположения элементов высока по сравнению с другими технологиями хранения информации. Предположительно ДН излучения от накопителей стремится к равномерной из-за большого количества разнонаправленных случайных антенн.

Сигнал измерялся на частоте работы шины данных USB 2.0 – 54 МГц. Запускалась циклическая запись на носитель для получения тестового сигнала. Положение USB-накопителя при съёме ДН соответствовало точке 0, совпадающей с центром поворотного стола. Таким образом, расстояние от накопителя до измерительной антенны не менялось на протяжении всего эксперимента. Горизонтальная ДН соответствует плоскости XOY , а вертикальная – плоскости YOZ .

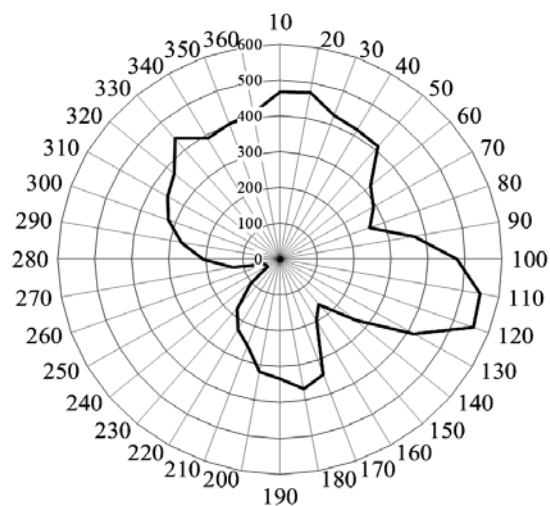
В исследованиях использовались 3 накопителя разных фирм-изготовителей. Все накопители показали различную неравномерность ДН. Результаты съёма ДН для одного из них как обладающие наибольшим количеством всплесков, представлены на рис. 8 и 9. Горизонтальная ДН близка к равномерной. На горизонтальной ДН направление 0° соответствует оси X . Колебания уровня сигнала лежат в пределах 10–13 мкВ/м. Значимых аномалий не выявлено.

На вертикальной ДН направление 0° соответствует оси Z . Присутствуют «провалы» в диаграмме в направлениях 60–80, 150–170, 250–270°. Причинами таких «провалов» являются экранирующие свойства системного блока, а также внутреннее устройство

накопителя. Учитывая «провалы» в ДН, дальность распространения колеблется в диапазоне 0,5–15,8 м.



— Напряжённость (мкВ/м) - - Шум (мкВ/м)
Рис. 8. Горизонтальная ДН излучения от USB-накопителя



— Напряжённость (мкВ/м) - - Шум (мкВ/м)
Рис. 9. Вертикальная ДН излучения от USB-накопителя

Заключение

В работе представлены и проанализированы результаты экспериментов по снятию диаграмм направленности ПЭМИ от монитора и USB-накопителя. Проведённый анализ показал, что распространение ПЭМИ обладает неравномерными характеристиками. Предположения о форме ДН частично подтверждены.

ДН для различных устройств разных марок уникальны. Неравномерность ДН объясняется внутренним расположением элементов, материалом и формой корпуса, его экранирующими свойствами. Из-за большого количества причин, влияющих на формирование ДН, спрогнозировать её не представляется возможным. Однако ДН является устойчивой во времени характеристикой устройства, поэтому можно делать выводы о распространении ПЭМИ на основе полученных ранее измерений. Тем не менее на ДН оказывает влияние и помещение, в котором

функционирует устройство, что склонно видоизменять ДН.

Выполнена оценка дальности распространения сигнала. Результаты экспериментов показали, что колебания в дальности распространения в зависимости от направления излучения сравнимы с размерами помещений, в которых происходит обработка информации. Из-за непредсказуемости этих колебаний появляется угроза неправильной оценки защищённости информации от утечки по ПЭМИ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ТУСУРа на 2017–2019 гг. (проект № 2.8172.2017/8.9).

Литература

1. Ружников В.А. Основы теории антенн и распространения радиоволн / М.Ю. Сподобаев, Ю.М. Сподобаев, В.П. Кубанов / под ред. В.П. Кубанова. – Самара: ОФОРТ, 2016. – 257 с.
2. Авсентьев А.О. Исследование условий возникновения технических каналов утечки информации по побочным электромагнитным излучениям на объектах информатизации / А.О. Авсентьев, А.Г. Вальде, О.С. Авсентьев // Вестник Воронежского института МВД России. – 2017. – С. 22–31.
3. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. – 2-е изд. – М.: Телеком, 2007. – 558 с.
4. Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Томск: ТПУ, 2007. – 207 с.
5. Семенов А.В. Утечка информации по каналам ПЭМИ и способы их защиты / А.В. Семенов, Н.В. Киреева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – Вып. 8-4. – С. 499–504.
6. Шелупанов А.А. Оценка ПЭМИ электронных устройств / А.А. Шелупанов, А.П. Зайцев // Доклады ТУСУР. – 2008. – № 2 (18), ч. 1. – С. 12–17.
7. Хорев А.А. Оценка возможности обнаружения побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера / А.А. Хорев // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 2(32). – С. 207–213.
8. Жалковский И.В. Определение энергетического критерия оценки защищённости информации от утечки по каналу побочных электромагнитных излучений // Докл. Белорус. гос. ун-та информатики и радиоэлектроники. – 2015. – Вып. 3 (89). – С. 107–111.
9. Шелупанов А.А. Системный анализ в защите информации / А.А. Шелупанов, А.А. Шумский. – М.: Гелиос, 2005. – 224 с.
10. Мещеряков Р.В. Технические средства и методы защиты информации / Р. В. Мещеряков, А.А. Шелупанов, А.П. Зайцев. – 7-е изд. – М: Горячая линия – Телеком, 2012. – 442 с.
11. Шелупанов А.А. Технические средства и методы защиты информации / А.А. Шелупанов, Р.В. Мещеряков, С.В. Скрыль, А.П. Зайцев. – М.: Машиностроение, 2009. – 508 с.
12. Лось В.П. Основы информационной безопасности / В.П. Лось, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов, Е.Б. Белов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 544 с.
13. Markus G. Kuhn. Electromagnetic Eavesdropping Risks of Flat-Panel Displays // 4th Workshop on Privacy Enhancing Technologies. – Toronto, Canada, 2004. – PP. 88–107.
14. Кубанов В.П. Направленные свойства антенных решёток. – Самара: ПГУТИ, 2011. – 56 с.

15. Панасюк Ю.Н. Основы теории антенн / Ю.Н. Панасюк, А.А. Иванков, А.П. Пудовкин. – Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 94 с.

Антипов Денис Александрович

Аспирант каф. комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС) Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)
Ленина пр-т, д.40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-983-345-93-68
Эл. почта: antipodp@gmail.com, antipodya@yandex.ru

Шелупанов Александр Александрович

Д-р техн. наук, профессор, ректор ТУСУР
Ленина пр-т, д.40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: (382-2) 51-05-30
Эл. почта: rector@tusur.ru
Antipov D.A., Shelupanov A.A.

Research of the direction of secondary electromagnetic radiation from a personal computer

The work is devoted to the research of the propagation of secondary electromagnetic radiation from devices in a personal computer. In the course of the work, experiments were performed demonstrating non-uniform characteristics of the radiation pattern. The calculations are given that allow one to assess the influence of uneven distribution on the security of information. It is concluded that the magnitude of the signal level fluctuations, depending on the direction of the radiation, affects the security of information.

Keywords: spurious electromagnetic radiation, information protection, radiation pattern, monitor, usb-drive.

doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-2-33-37

References

1. Ruzhnikov V.A., Spodobaev M.Yu., Spodobaev Yu.M., Kubanov V.P. *Fundamentalnie osnovi teorii antenn i rasprostraneniya radiovoln* [Fundamentals of the theory of antennas and the propagation of radio waves]. The Russian Federation, ed. Kubanov V.P., Samara: OFORT, 2016., 257 p.
2. Avsentyev A.O., Valde A.G., Osnt'ev O.S. Investigation of the conditions for the emergence of technical information leakage channels for secondary electromagnetic radiation at information objects. *Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 2017, pp. 22–31.
3. Petrov B.M. *Electrodinamika i rasprostraneniye radiovoln* [Electrodynamics and propagation of radio waves]. Russia, Moscow Telecom, 2007, 558 p.
4. Kharlov N.N. *Electromagnitnaya sovmestimost v elektroenergetike* [Electromagnetic compatibility in the electric power industry]. Tomsk: TPU, 2007, 207 p.

5. Semenov A.V., Kireeva N.V. The leakage of information through PEMI channels and ways to protect them. *Journal of Applied and Fundamental Research*. vol. 8-4, 2016, pp. 499–504.

6. Shelupanov A.A., Zaitsev A.P. Evaluation of PEMI electronic devices. *Reports of TUSUR*, 2008, no. 2 (18), part 1, pp. 12–17.

7. Khorev A.A. Evaluation of opportunities for detecting secondary electromagnetic emissions of the computer's video system. *Reports of TUSUR*, 2014, no. 2 (32), pp. 207–213.

8. Zhalkovsky I.V. Determination of the energy criterion for estimating the security of information from leakage through the channel of spurious electromagnetic radiation. *Reports of the Belarusian State University and Radioelectronics*. Vol. 3 (89), 2015, pp. 107–111.

9. Shelupanov A.A., Shumsky A.A. *Sistemnyi analiz v zashite informacii* [System analysis in the protection of information]. Moscow Helios, 2005, 224 p.

10. Meshcheryakov R.V., Shelupanov A.A., Zaitsev A.P. *Tekhnicheskie sredstva i metodi zashiti informacii* [Technical means and methods of information protection] 7th, Moscow: Hot line – Telecom, 2012, 442 p.

11. Shelupanov A.A., Meshcheryakov R.V., Skryl S.V., Zaitsev A.P. *Tekhnicheskie sredstva i metodi zashiti informacii* [Technical means and methods of information protection] Moscow: Mashinostroenie, 2009, 508 p.

12. Los V.P., Meshcheryakov R.V., Shelupanov A.A., Belov E.B. *Osnovi infomacionnoi bezopasnosti* [Fundamentals of Information Security], Moscow: Hotline – Telecom, 2006, 544 p.

13. Markus G. Kuhn *Electromagnetic Eavesdropping Risks of Flat-Panel Displays // 4th Workshop on Privacy Enhancing Technologies*, Toronto, Canada, 2004, pp. 88–107.

14. Kubanov V.P. *Napravleniye svoistva antennih reshetok* [Directional properties of antenna arrays] Russian Federation, Samara: PGUTI, 2011, 56 p.

15. Panasyuk Yu.N., Ivankov A.A., Pudovkin A.P. *Osnovi teorii antenn* [Fundamentals of the theory of antennas] Tambov: GOU VPO TSTU, 2011, 94 p.

Denis A. Antipov

Post-graduate student. Integrated Information Security of Electronic Computing Systems, Tomsk University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenina pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone.: +7-983-345-93-68
Email: antipodp@gmail.com, antipodya@yandex.ru

Alexander A. Shelupanov

Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector TUSUR
40, Lenina pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone.: (382-2) 51-05-30